



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101346210 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 07

(21) 申请号 200680049258. 4

B23Q 15/08 (2006. 01)

(22) 申请日 2006. 12. 21

B81C 5/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

审查员 陈华

11/318, 707 2005. 12. 27 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 06. 26

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/048806 2006. 12. 21

(87) PCT申请的公布数据

W02007/075898 EN 2007. 07. 05

(73) 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 马克·E·加迪纳 艾伦·B·坎贝尔

戴尔·L·埃内斯 丹尼尔·S·沃茨

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

代理人 顾红霞 彭会

(51) Int. Cl.

B23Q 15/14 (2006. 01)

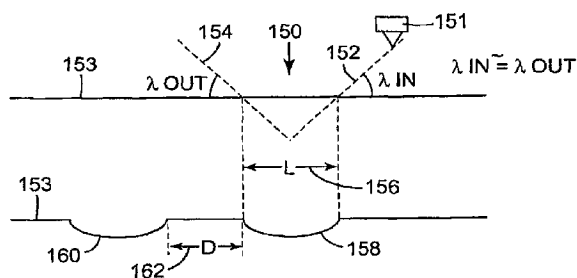
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 6 页

(54) 发明名称

使用断续切削快速刀具伺服装置的刀具

(57) 摘要

本发明公开一种刀具组件,其具有能够沿待切削工件横向运动的刀架和带有刀头的致动器。所述致动器控制所述刀头在垂直于所述工件的 X 方向上的运动,从而在所述工件中形成不连续的微结构。加工工件可用于制造微结构化制品,例如具有不相邻的小透镜的薄膜。



1. 一种刀具组件,包括:

驱动单元,其与工件连接用于使所述工件旋转;

刀架,其安装在轨道上用于与待加工的所述工件的表面大致平行地移动;

致动器,其安装在所述刀架上,所述致动器包括:

主体,其具有孔;以及

压电堆,其固定在所述主体的孔中并受到预加负荷;

刀头座,其与所述压电堆连接;

刀头,其安装在所述刀头座上,其中,所述压电堆使所述刀头沿着与待加工的所述工件的表面大致垂直的 X 方向移动;以及

控制器,其与所述驱动单元和所述致动器连接,用于经由所述驱动单元控制所述工件相对于所述刀头的运动,并且经由所述压电堆控制所述刀头的运动,在切削待加工的所述工件的表面期间,所述控制器经由所述压电堆使所述刀头进入和离开所述工件的表面,以便在所述工件的表面上形成不连续的特征。

2. 根据权利要求 1 所述的刀具组件,其中,所述控制器使所述刀头进入和离开待加工的所述工件的表面,从而使得在切削期间所述刀头进入所述工件的表面的入锥角基本上等于所述刀头离开所述工件的表面的出锥角。

3. 根据权利要求 1 所述的刀具组件,其中,所述控制器使所述刀头进入和离开待加工的所述工件的表面,从而使得在切削期间所述刀头进入所述工件的表面的入锥角小于所述刀头离开所述工件的表面的出锥角。

4. 根据权利要求 1 所述的刀具组件,其中,所述控制器使所述刀头进入和离开待加工的所述工件的表面,从而使得在切削期间所述刀头进入所述工件的表面的入锥角大于所述刀头离开所述工件的表面的出锥角。

使用断续切削快速刀具伺服装置的刀具

背景技术

[0001] 机加工技术可用于制造各种各样的工件,例如微复制工具。微复制工具常用于挤出工艺、注塑成型工艺、压花工艺、浇注工艺等,从而形成微复制结构。微复制型结构可包括光学膜、研磨膜、粘合剂膜、具有自配合外形的机械紧固件、或具有尺寸相对较小(例如尺寸小于约 1000 微米)的微复制结构的任何模制或挤出部件。

[0002] 也可采用其它各种方法制成微结构。例如,可通过浇铸和固化工艺将母模的结构从母模转移到例如聚合材料带材或卷材的其它介质上,以形成生产工具;然后使用该生产工具形成微复制结构。可使用例如电铸之类的其它方法复制该母模工具。制造导光薄膜的另一备选方法是直接切削或机加工透明材料,以形成适当的结构。其它技术包括化学蚀刻、喷砂处理或其它随机表面改性技术。

发明内容

[0003] 第一刀具组件包括刀架和致动器,致动器被构造为连接到刀架上并与控制器电通信。连接到该致动器的刀头被安装为可相对于待切削工件运动。该致动器使刀头在垂直于工件的 X 方向运动,并且在工件切削期间刀头不连续地与工件接触。

[0004] 第二刀具组件包括刀架和致动器,致动器被构造为连接到刀架上并与控制器电通信。连接到该致动器上的刀头被安装为可相对于待切削工件运动。该致动器使刀头在垂直于工件的 X 方向运动。在切削期间刀头不连续地与工件接触,并且该组件可在切削期间改变刀头进入工件的入锥角和刀头离开工件的出锥角。

附图说明

[0005] 附图包含在本说明书中并构成本说明书的一部分,并且它们结合具体实施方式阐明本发明的优点和原理。在附图中,

[0006] 图 1 为在工件中制成微结构的刀具系统的简图;

[0007] 图 2 为示出用于刀具的坐标系的简图;

[0008] 图 3 为用于刀具的示例性 PZT 堆的简图;

[0009] 图 4A 为刀头座的透视图;

[0010] 图 4B 为用于保持刀头的刀头座的前视图;

[0011] 图 4C 为刀头座的侧视图;

[0012] 图 4D 为刀头座的俯视图;

[0013] 图 5A 为刀头的透视图;

[0014] 图 5B 为刀头的前视图;

[0015] 图 5C 为刀头的仰视图;

[0016] 图 5D 为刀头的侧视图;

[0017] 图 6A 为断续切削型 FTS 致动器的俯视剖视图;

[0018] 图 6B 为示出 PZT 堆在致动器中的位置的前视剖视图;

- [0019] 图 6C 为致动器的前视图；
- [0020] 图 6D 为致动器的后视图；
- [0021] 图 6E 为致动器的俯视图；
- [0022] 图 6F 和 6G 为致动器的侧视图；
- [0023] 图 6H 为致动器的透视图；
- [0024] 图 7A 为示出断续切削的简图，其中进入工件的入锥角和离开工件的出锥角基本相等；
- [0025] 图 7B 为示出断续切削的简图，其中进入工件的入锥角小于离开工件的出锥角；
- [0026] 图 7C 为示出断续切削的简图，其中进入工件的入锥角大于离开工件的出锥角；以及
- [0027] 图 8 为概念性地示出可使用具有断续切削型 FTS 致动器的刀具系统制造的微结构的简图。

具体实施方式

[0028] 刀具系统

[0029] 在已公开的 PCT 专利申请 W000/48037 中描述了常规金刚石车削技术。在这些方法中使用的和用于制成光学薄膜或其它薄膜的装置可包括快速伺服工具。如 W000/48037 中所公开的，快速工具伺服装置 (FTS) 为被称为 PZT 堆的固态压电 (PZT) 装置，PZT 堆快速调整连接到该 PZT 堆的刀具的位置。如下面详细描述的，FTS 使刀具可以在坐标系内的各个方向做高精度度和高速运动。

[0030] 图 1 为用于在工件中制成微结构的刀具系统 10 的简图。微结构可包括位于制品表面上的、凹入制品表面的或从制品表面凸起的任何类型、形状以及尺寸的结构。例如，使用本说明书描述的致动器和系统制造的微结构可具有 1000 微米节距、100 微米节距、1 微米节距、或甚至约 200 纳米的亚光学波长 (nm) 节距。作为另外一种选择，在其它实施例中，微结构的节距可大于 1000 微米，这与其切削方法无关。提供这些尺寸仅出于示例性目的，使用本说明书描述的致动器和系统制成的微结构可具有使用该系统可加工的范围内的任何尺寸。

[0031] 利用计算机 12 控制系统 10。计算机 12 包括例如下列元件：存储一个或多个应用程序 16 的存储器 14；提供非易失信息存储的第二存储器 18；接收信息或命令的输入装置 20；运行存储在存储器 16 或第二存储器 18 中、或来自另一个来源的应用程序的处理器 22；输出视频显示信息的显示装置 24；以及以用于音频信息的扬声器或用于信息硬拷贝的打印机之类的其它形式输出信息的输出装置 26。

[0032] 利用刀头 44 对工件 54 执行切削加工。在通过例如计算机 12 控制的电动机之类的驱动器和编码器 56 使工件 54 转动的同时，致动器 38 控制刀头 44 的运动。在此实例中，示出的工件 54 为辊形的；然而，工件也可以是平面形式的。可使用任何可加工的材料；例如，工件可由铝、镍、铜、黄铜、钢，或塑料（例如，丙烯酸树脂）制成。例如，使用的具体材料可以取决于所需的具体应用，例如使用已加工的工件制成各种薄膜。致动器 38 和下文所述的致动器可由例如不锈钢或其它材料制成。

[0033] 致动器 38 可拆卸地连接到刀架 36 上，刀架又被安装到轨道 32 上。刀架 36 和致

动器 38 被构造为在轨道 32 上可沿箭头 40 和 42 所示的 X 方向和 Z 方向运动。计算机 12 经由一个或多个放大器 30 与刀架 36 和致动器 38 电连接。当用作控制器时,计算机 12 控制刀架 36 在轨道 32 上的运动并通过致动器 38 控制刀头 44 的运动,以便加工工件 54。如果致动器包括多个 PZT 堆,它就可以使用分开的放大器分别控制每个 PZT 堆,所述 PZT 堆用于独立地控制连接在其上的刀头的运动。如下面详细说明的,计算机 12 可利用函数发生器 28 向致动器 38 提供波形,以便在工件 54 中加工各种微结构。

[0034] 通过不同部件的协调运动完成工件 54 的加工。具体地讲,在计算机 12 的控制下,该系统可以通过刀架 36 的运动协调并控制致动器 38 的运动,同时协调并控制工件在 C 方向的运动以及刀头 44 在 X 方向、Y 方向和 Z 方向中一个或多个方向的运动,这些坐标将在下面说明。所述系统通常使刀架在 Z 方向做匀速运动,但也可以使刀架 36 做变速运动。刀架 36 和刀头 44 的运动通常与工件 54 在 C 方向的运动(如线条 53 表示的旋转运动)同步。可以利用例如在计算机 12 的软件、硬件或其组合中执行的数字控制技术或数字控制器(NC)控制所有那些运动。

[0035] 工件切削可包括连续的和连续的切削运动。对于辊形工件,切削可包括环绕或围绕辊的螺旋型切削(有时称为螺纹切削)或单个圆切削。对于平面形式的工件,切削可包括在工件上的或围绕工件的螺旋线型切削或单个圆切削。还可使用 X 切削,这种切削涉及接近直线的切削形式,其中金刚石刀头可横向进出工件,但是刀架的整体运动是直线的。切削也可包括这些运动类型的组合。

[0036] 工件 54 加工完后,可用于制成在多种用途中使用的具有相应微结构的薄膜。这些薄膜的实例包括光学薄膜、摩擦控制薄膜以及微型紧固件或其它机械微结构化元件。通常使用涂层工艺制成所述薄膜,在涂层工艺中,将粘稠状态的材料涂布在工件上,使其至少部分固化,然后移除。固化聚合物材料构成的薄膜将具有与工件中的结构基本上相反的结构。例如,工件中的凹进导致所得薄膜中的凸起。经过加工后,工件 54 还可用于制造具有与刀具中的分立元件或微结构相对应的分立元件或微结构的其它制品。

[0037] 通过管线 48 和 50 利用冷却液 46 控制刀架 36 和致动器 38 的温度。温度控制单元 52 可以使冷却液在流经刀架 36 和致动器 38 循环的同时保持基本恒定的温度。温度控制单元 52 可以是能够控制流体温度的任何装置。冷却液可以是油产品,例如低粘度油。温度控制单元 52 和冷却液贮存器 46 可包括使流体流过刀架 36 和致动器 38 循环的泵,并且还通常包括使流体散热的冷却系统以使流体基本保持恒温。使流体循环并提供流体温度控制的冷却和泵系统在本领域是已知的。在某些实施例中,为了使要在工件中加工的材料表面温度保持基本恒定,也可以将冷却液用于工件 54。

[0038] 图 2 为示出用于例如系统 10 的刀具坐标系的简图。该坐标系示出了刀头 62 相对于工件 64 的运动。刀头 62 可以与刀头 44 相同,并通常连接到与致动器相连的刀头座 60 上。在该示例性实施例中,坐标系包括 X 方向 66、Y 方向 68 和 Z 方向 70。X 方向 66 指沿基本上垂直于工件 64 的方向的运动。Y 方向 68 指沿横过工件 64 的方向的运动,例如基本上平行于工件 64 的旋转平面的方向上的运动。Z 方向 70 指在横向地沿着工件 64 的方向上的运动,例如在基本上平行于工件 64 的旋转轴的方向上的运动。也如图 1 所示,工件的旋转被称为 C 方向。如果工件不是辊形,而是平面形式的,那么 Y 方向和 Z 方向就指在沿基本上垂直于 X 方向的方向横过工件的互相垂直的方向上的运动。例如,平面形式的工件可包括由

平面材料制成的转盘或其它任何构造。

[0039] 系统 10 可用于高精度的高速加工。这一类型的加工必须考虑例如元件的协调速度和工件材料之类的多种参数。例如,通常必须与工件材料的热稳定性和特性一起考虑给定体积待加工金属的比能量。有关加工的切削参数描述见下列参考文献: Machining Data Handbook, Library of Congress Catalog Card No. 66-60051, Second Edition (1972); Edward Trent and Paul Wright, Metal Cutting, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-7069-X (2000); Zhang Jin-Hua, Theory and Technique of Precision Cutting, Pergamon Press, ISBN 0-08-035891-8 (1991); 以及 M. K. Krueger 等人, New Technology in Metalworking Fluids and Grinding Wheels Achieves Tenfold Improvement in Grinding Performance, Coolant/Lubricants for Metal Cutting and Grinding Conference, Chicago, Illinois, U. S. A., 2000 年 6 月 7 日。

[0040] PZT 堆、刀头座和刀头

[0041] 图 3 为用于刀具的示例性 PZT 堆 72 的简图。PZT 堆用于使与其相连的刀头运动和根据 PZT 效应运行,这在本领域是已知的。根据 PZT 效应,施加到某类材料的电场将使其沿一个轴线伸展,并沿另一个轴线收缩。PZT 堆通常包括包封在壳体 84 内并且安装在基板 86 上的多个材料 74、76 和 78。在这一示例性实施例中,材料是具有 PZT 效应的陶瓷材料。仅出于示例性目而示出三个盘状物 74、76 和 78,可以根据例如具体实施例的需要使用任何数目的盘状物或其它材料、及其任何类型的形状的材料。柱 88 粘附在盘状物上,并从壳体 84 中伸出。可以利用任何 PZT 材料制造所述盘状物,例如混合的、压制的和烧结的钛酸钡、锆酸铅或钛酸铅材料以及以所列材料为基体的材料。其中一种 PZT 材料可得自 Kinetic Ceramics, Inc. (26240 Industrial Blvd., Hayward, CA 94545, U. S. A.)。例如,也可采用磁致伸缩材料制造所述盘状物。

[0042] 如线条 80 和 82 所示的盘状物 74、76 和 78 的电连接为这些盘状物提供电场,以使柱 88 运动。由于 PZT 效应以及根据施加的电场类型,可以使柱 88 进行精确和微小的运动,例如几微米以内的运动。另外,包括柱 88 的 PZT 堆 72 的端部可紧靠一个或多个贝氏垫圈安装,所述垫圈用于为 PZT 堆预加负荷。贝氏垫圈具有一定的柔韧性,使柱 88 及与其连接的刀头可以运动。

[0043] 图 4A-4D 为示例性刀头座 90 的视图,如下文所述,所述刀头座安装在 PZT 堆的柱 88 上,接受致动器的控制。图 4A 为刀头座 90 的透视图。图 4B 为刀头座 90 的前视图。图 4C 为刀头座 90 的侧视图。图 4D 为刀头座 90 的俯视图。

[0044] 如图 4A-4D 所示,刀头座 90 包括平坦的后表面 92、楔形的前表面 94 和具有倾斜或楔形侧面的凸出表面 98。孔 96 用于将刀头座 90 安装到 PZT 堆的柱上。楔形表面 98 用于安装加工工件的刀头。在这一示例性实施例中,刀头座 90 包括平坦表面,从而在安装到 PZT 堆上时,通过提供更大的接触表面积而增强其安装稳定性;并且该刀头座包括楔形的前表面,从而减少其质量。可利用粘合剂、硬钎焊、软钎焊、例如螺栓等紧固件,或用其它方法将刀头座 90 安装在 PZT 堆的柱 88 上。

[0045] 例如根据具体实施例的要求,也可使用其它的刀头座构造。术语“刀头座”旨在包括用于保持加工工件的刀头的所有类型的结构。可采用下列一种或多种材料制造刀头座

90,例如:烧结的碳化物、氮化硅、碳化硅、钢、钛、金刚石,或人造金刚石材料。刀头座 90 优选地采用刚性轻质材料制造。

[0046] 图 5A-5D 为示例性刀头 100 的视图,该刀头通过例如粘合剂、硬钎焊、软钎焊或其它方式固定到刀头座 90 的表面 98 上。图 5A 为刀头 100 的透视图。图 5B 为刀头 100 的前视图。图 5C 为刀头 100 的仰视图。图 5D 为刀头 100 的侧视图。如图 5A-5D 所示,刀头 100 包括侧面 104、楔形或倾斜的前表面 106 和用于将刀头固定到刀头座 90 的表面 98 上的底面 102。在致动器的控制下,利用刀头 100 的前部 105 加工工件。刀头 90 可采用例如金刚石块制成。

[0047] 断续切削型 FTS 致动器

[0048] 在切削期间,利用断续切削型 FTS 致动器使刀头与工件不连续地接触,以制造小型微结构,从而产生不相邻的微结构。这些结构可用于制造薄膜光导、微流体结构、分段粘合剂、磨料制品、光学扩散片、高对比度光学屏、光重定向薄膜、抗反射结构、光混合膜和装饰膜。

[0049] 该致动器可以提供其它优点。例如,制造小到肉眼不可见的结构。例如,这类结构减少了对液晶显示器中用于隐藏光提取结构的扩散片的需要。在光导上方使用交叉的 BEF 薄膜也会产生光混合作用,这种光混合作用与这些小型结构一起消除了对扩散片层的需要。另一个优点是可制成线形或圆形的光提取结构。例如,线形的光提取结构可与传统的冷阴极荧光灯 (CCFL) 光源一起使用。圆形的光提取结构可以形成在中心点位于通常放置 LED 的位置的圆弧上。另一个优点涉及编程和结构布局,其中所有结构均无需如同连续的凹槽一样地沿单根线布置。可通过安排沿结构的间距、与结构正交的间距以及深度来确定性调整光提取结构的面积密度。此外,可优选地通过选择切削面的角度或半角的方法制成光提取角度。

[0050] 例如,这些结构的深度可以在 0 至 35 微米的范围内,更典型地在 0 至 15 微米的范围内。对于辊形的工件,利用工件围绕 C 轴旋转的每分钟转数 (RPM) 和 FTS 的响应时间控制任何单个结构的长度。例如,结构长度可以控制在 1 至 200 微米。在螺旋型切削中,与槽正交的间距 (节距) 也可以编程为 1 至 1000 微米。如下面所示,制造这些结构的刀头将锥入 (taper in) 和锥出 (taper out) 材料,由此形成结构,结构的形状由 RPM、FTS 的响应时间、心轴编码器的分辨率和金刚石刀头的间隙角 (例如,最大值 45 度) 来控制。间隙角可包括刀头的刀面角。结构可具有任何类别的三维形状,例如对称的、非对称的、半-半球形的、棱柱形的和半椭球形的形状。

[0051] 图 6A-6H 为用于实现断续切削微复制系统和工艺的示例性致动器 110 的视图。术语“致动器”指使刀头基本上在 X 方向上运动以加工工件的任何类型的致动器或其它装置。图 6A 为致动器 110 的俯视剖视图。图 6B 为示出 PZT 堆在致动器 110 中的布置的前剖视图。图 6C 为致动器 110 的前视图。图 6D 为致动器 110 的后视图。图 6E 为致动器 110 的俯视图。图 6F 和 6G 为致动器 110 的侧视图。图 6H 为致动器 110 的透视图。为了清楚起见,在图 6C-6H 中移除了致动器 110 的一些细节。

[0052] 如图 6A-6H 所示,致动器 110 包括能够保持 X 方向 PZT 堆 118 的主体 112。将 PZT 堆 118 连接到装有刀头 136 的刀头座上,以使刀头在如箭头 138 所示的 X 方向上运动。PZT 堆 118 可以是如图 3 所示的示例性 PZT 堆 72。刀头座 136 和位于刀头座 136 上的刀头可以

是如图 4A-4D 所示的刀头座和如图 5A-5D 所示的刀头。主体 112 还包括两个孔 114 和 115, 所述孔用于利用例如螺栓将主体可拆卸地安装到刀架 36 上, 从而在计算机 12 控制下加工工件 54。

[0053] PZT 堆 118 牢固地安装在主体 112 中, 以得到精确控制刀头 136 的运动所需的稳定性。在该实例中, 刀头 136 上的金刚石是相对于竖直面偏移 45 度的金刚石, 但可以使用其它类型的金刚石。例如, 刀头可为 V 形的 (对称或非对称)、圆头的、扁平的或曲面刀具。由于不连续的 (非相邻的) 结构是在金刚石车床上切削出来的, 所以它们可为线形或圆形的。此外, 由于结构是不连续的, 因此它们甚至不需要沿单条线或单个圆圈布置。它们可伪随机地散布。

[0054] 通过例如导轨 120 和 122 等导轨将 PZT 堆 118 固定在主体 112 中。可优选地通过沿导轨滑动 PZT 堆 118 的方法从主体 112 取出 PZT 堆 118, 并可以利用螺栓或其它紧固件将 PZT 堆 118 在主体 112 中固定就位。PZT 堆 118 包括用于接收来自计算机 12 的信号的电连接 130。PZT 堆 118 的端盖包括口 128, 该口用于接收来自存储器 46 的冷却液 (例如油), 使冷却液围绕 PZT 堆循环并通过口 132 将油输送回存储器 46, 以保持对 PZT 堆的温度控制。主体 112 可包括用于引导冷却液流经 PZT 堆 118 周围的合适的通道, 并且可以利用温度控制单元 52 内的泵或其它装置使冷却液循环。

[0055] 图 6B 为前剖视图, 示出了 PZT 堆 118 在主体 112 中的位置, 其中未示出 PZT 堆 118 的端盖。主体 112 的每个孔内均可包括多根导轨, 这些导轨用于将 PZT 牢固地保持就位。例如, 导轨 120、122、140 和 142 包围 PZT 堆 118, 以便在将 PZT 堆 118 安装在主体 112 中时将 PZT 堆 118 牢固地保持就位。连接到 PZT 堆 118 上的端盖可容纳螺栓或其它紧固件, 以将 PZT 堆固定到导轨 120、122、142 和 144 中的一个或多个上, 并且端盖还可将 PZT 堆 118 密封在主体 112 中, 以使冷却液围绕 PZT 堆 118 循环。PZT 堆 118 可包括位于 PZT 堆与刀头座 136 之间的用于为 PZT 堆预加负荷的一个或多个贝氏垫圈。

[0056] 图 7A-7C 示出了使用上文所述的示例性致动器和系统对工件进行断续切削加工。具体地讲, 图 7A-7C 示出了使用可变的刀头入锥角 (taper-in angle) 和出锥角 (taper-out angle), 并且可使用例如上文确定的参数控制这些角。图 7A-7C 分别示出了在利用不同的入锥角和出锥角切削工件之前和之后的工件的实例。用 λ_{IN} 表示入锥角, 用 λ_{OUT} 表示出锥角。术语入锥角和出锥角分别表示加工期间刀头进入工件和离开工件的角度。入锥角和出锥角不必与刀头穿过工件的角度一致; 相反, 它们表示刀头接触和离开工件时的角度。在图 7A-7G 中, 刀头和工件可以是例如上文所述的系统和部件。

[0057] 图 7A 为示出断续切削 150 的简图, 其中进入工件 153 的入锥角和离开工件 153 的出锥角基本上相等。如图 7A 所示, 刀头 151 进入工件 153 的入锥角 152 基本上等于出锥角 154 ($\lambda_{IN} \approx \lambda_{OUT}$)。刀头 151 进入工件 153 的持续时间决定了所得微结构的长度 L (156)。在使用基本上相等的入锥角和出锥角的情况下, 利用刀头从工件中移除材料可形成基本上对称的微结构 158。可重复此过程以制造另外的微结构, 例如以间距 D (162) 分开的微结构 160。

[0058] 图 7B 为示出断续切削的简图, 其中进入工件 167 的入锥角小于离开工件 167 的出锥角。如图 7B 所示, 刀头 165 进入工件 167 的入锥角 166 小于出锥角 168 ($\lambda_{IN} < \lambda_{OUT}$)。刀头 165 在工件 167 内的停留时间决定了所得微结构的长度 170。使用小于出锥角的入锥

角,利用刀头从工件中移除材料可形成非对称的微结构,例如微结构 172。可重复此过程以制造另外的微结构,例如以间距 176 分开的微结构 174。

[0059] 图 7C 为示出断续切削的简图,其中进入工件 181 的入锥角大于离开工件的出锥角。如图 7C 所示,刀头 179 进入工件 181 的入锥角 180 大于出锥角 182 ($\lambda_{IN} > \lambda_{OUT}$)。刀头 179 在工件 181 内的停留时间决定了所得微结构的长度 184。使用大于出锥角的入锥角,利用刀头从工件中移除材料可形成非对称的微结构,例如微结构 186。可重复此过程以制造另外的微结构,例如以间距 190 分开的微结构 188。

[0060] 在图 7A-7C 中,用于表示入锥角和出锥角的虚线 (152、154、166、168、180、182) 旨在概念性地示出刀头进入和离开工件的角度实例。在切削工件时,刀头可以任何具体类型的路径运动,例如直线路径、弯曲路径、包括直线运动和弯曲运动组合的路径或由具体函数限定的路径。

[0061] 图 8 为概念性地示出微结构的简图,该微结构的制造方法可为:使用具有断续切削型 FTS 致动器的刀具系统制造机加工的工件,然后使用此工件制造结构化薄膜。如图 8 所示,制品 200 包括顶面 202 和底面 204。顶面 202 包括断续切削的凸起微结构,例如结构 206、208 和 210,这些微结构的制造方法可为:使用上文所述的致动器和系统加工工件,然后使用此工件利用涂层技术制造薄膜或制品。在该实例中,每个微结构都具有长度 L,顺序切削的微结构相距间距 D,相邻的微结构相距节距 P。采用这些参数的实例见上文。

[0062] 尽管已结合示例性实施例描述本发明,但应当理解,对本领域的技术人员来说,许多修改形式将是显而易见的,本专利申请旨在涵盖任何修改或变化。例如,在不偏离本发明范围的情况下,刀架、致动器和刀头可以使用各种类型的材料和构造。本发明应当仅受限于权利要求书及其等同物。

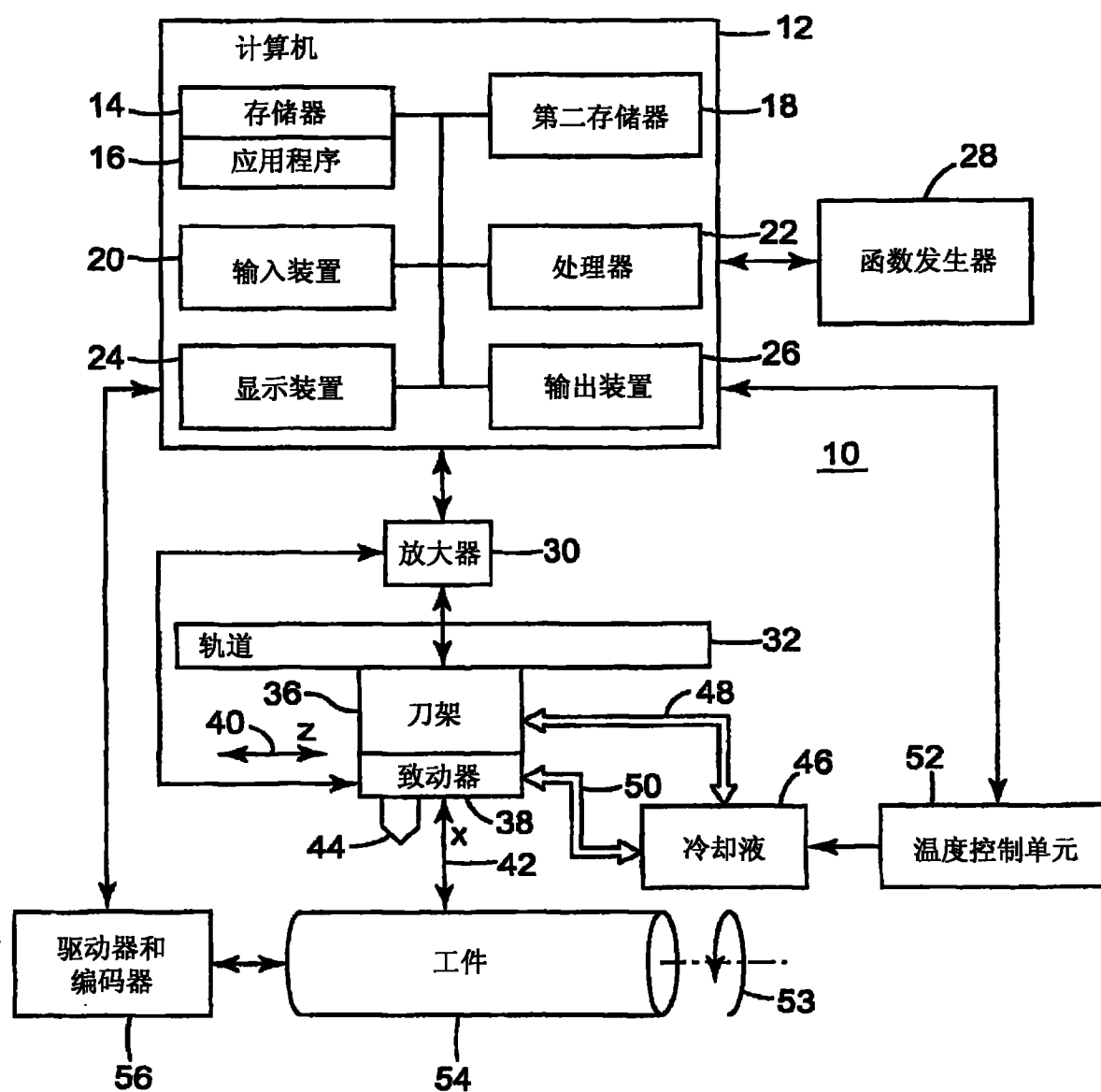


图 1

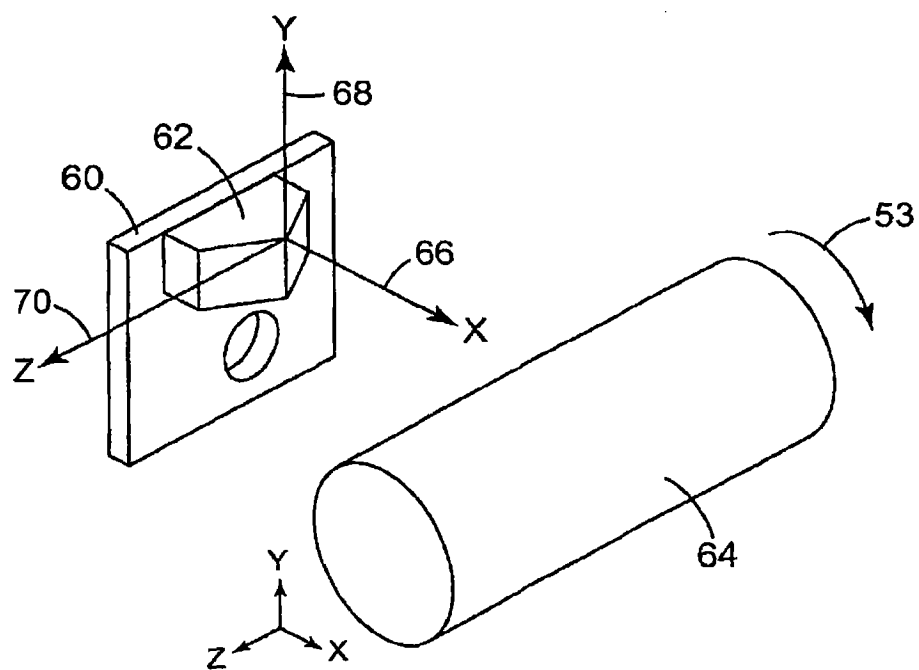


图 2

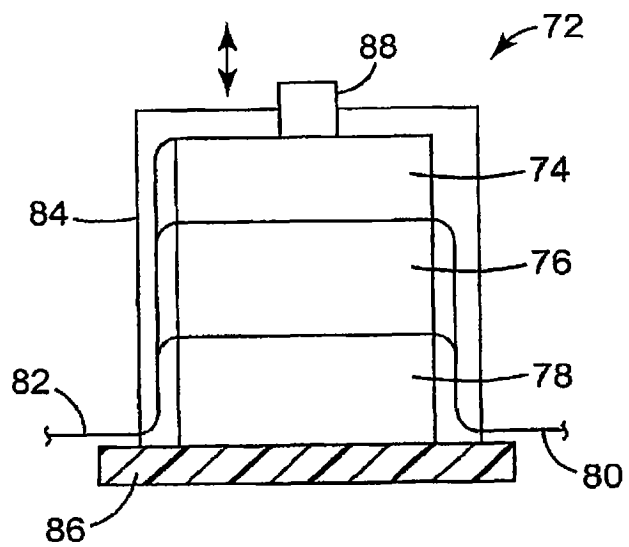


图 3

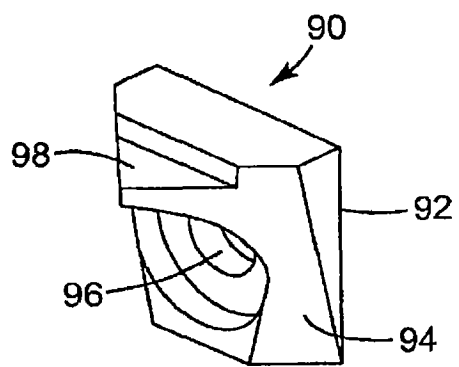


图 4A

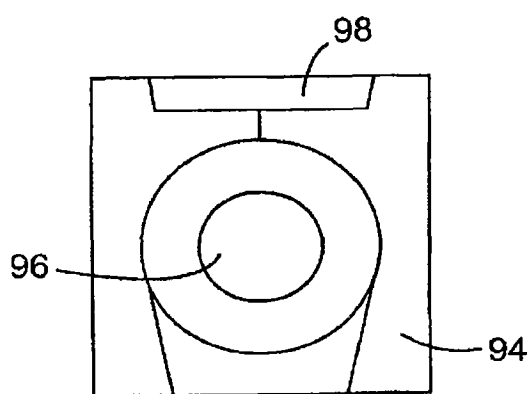


图 4B

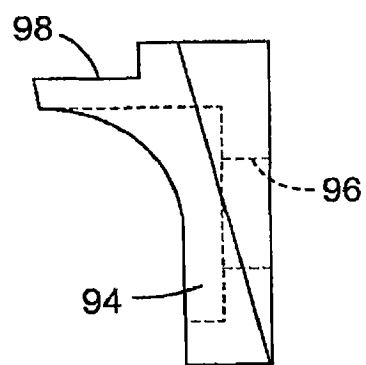


图 4C

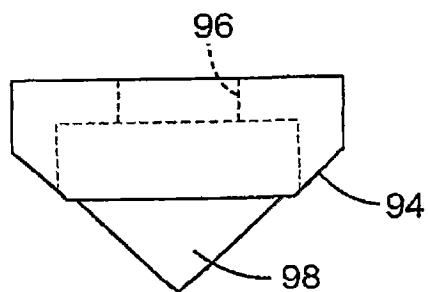


图 4D

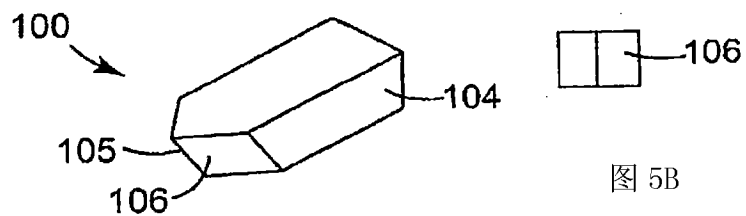


图 5A

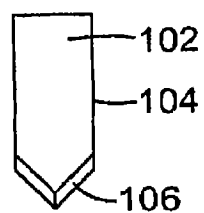


图 5C

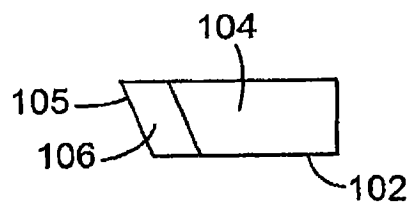


图 5D

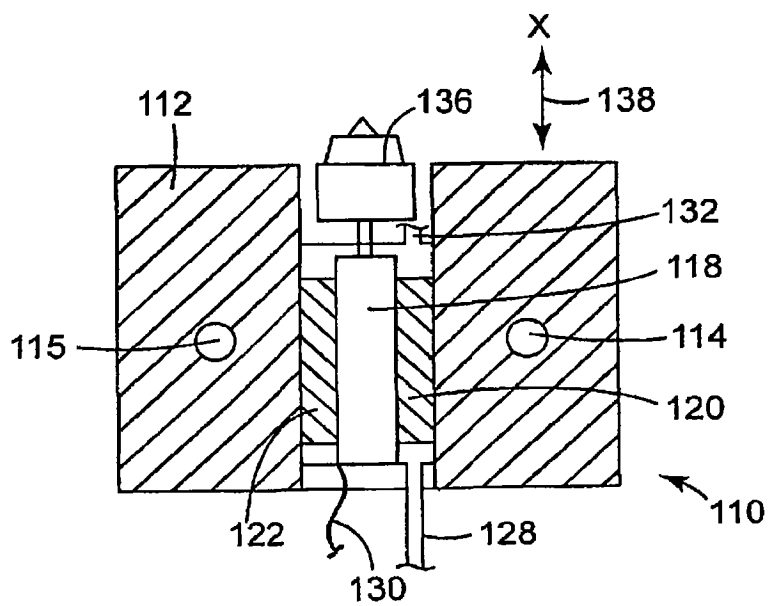


图 6A

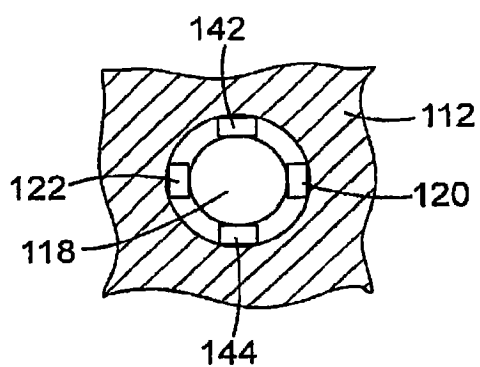


图 6B

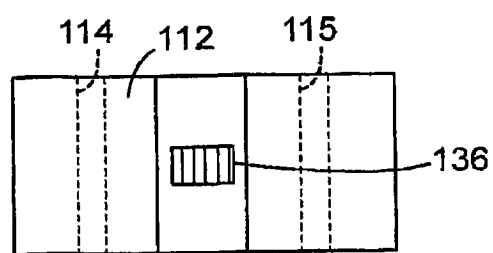


图 6C

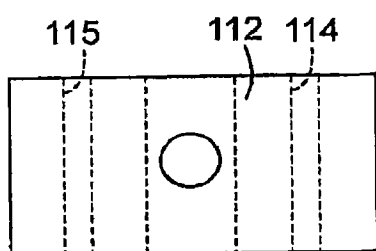


图 6D

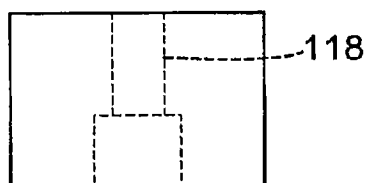


图 6E

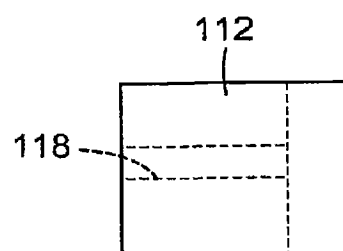


图 6F

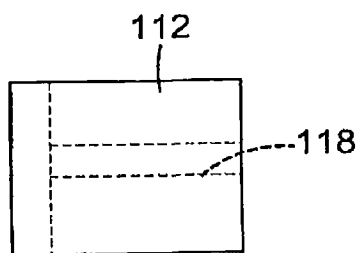


图 6G

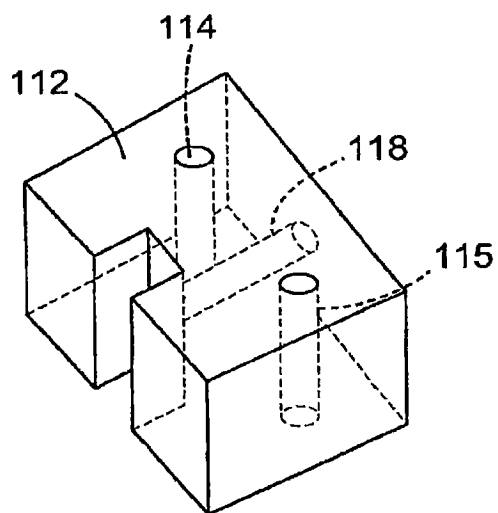


图 6H

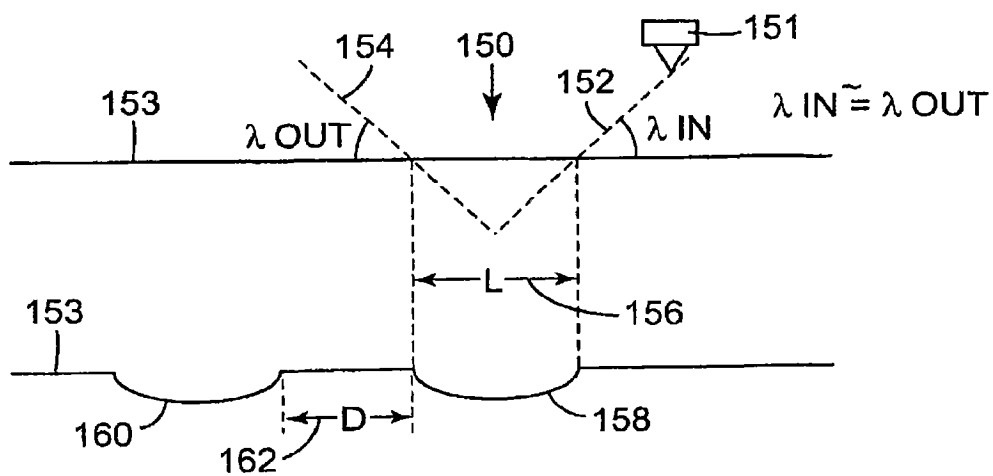


图 7A

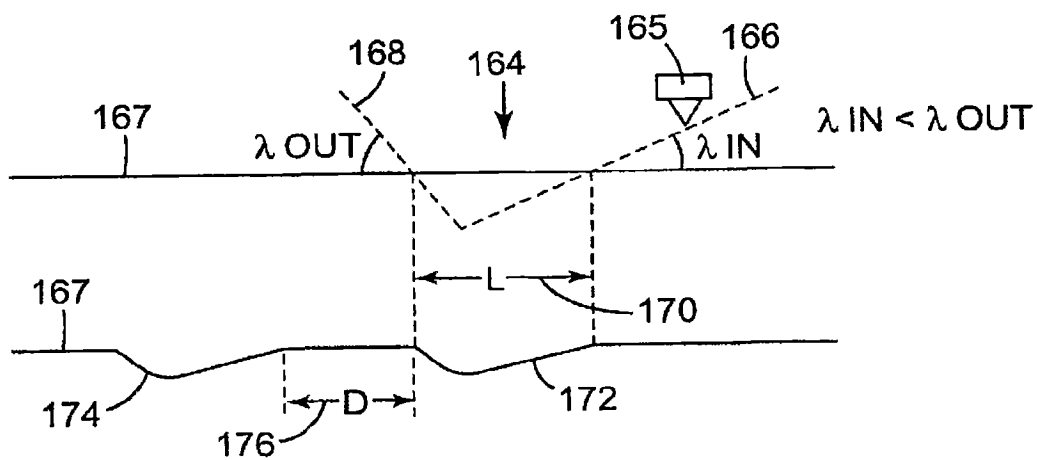


图 7B

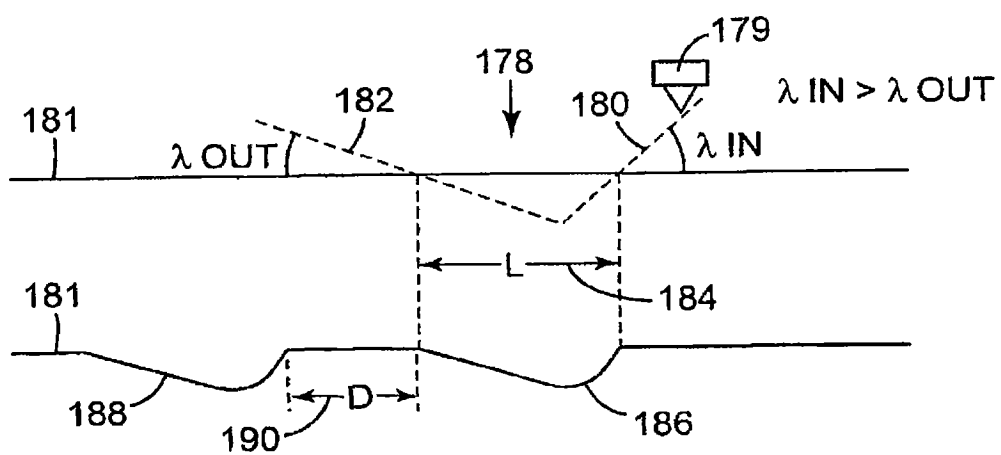


图 7C

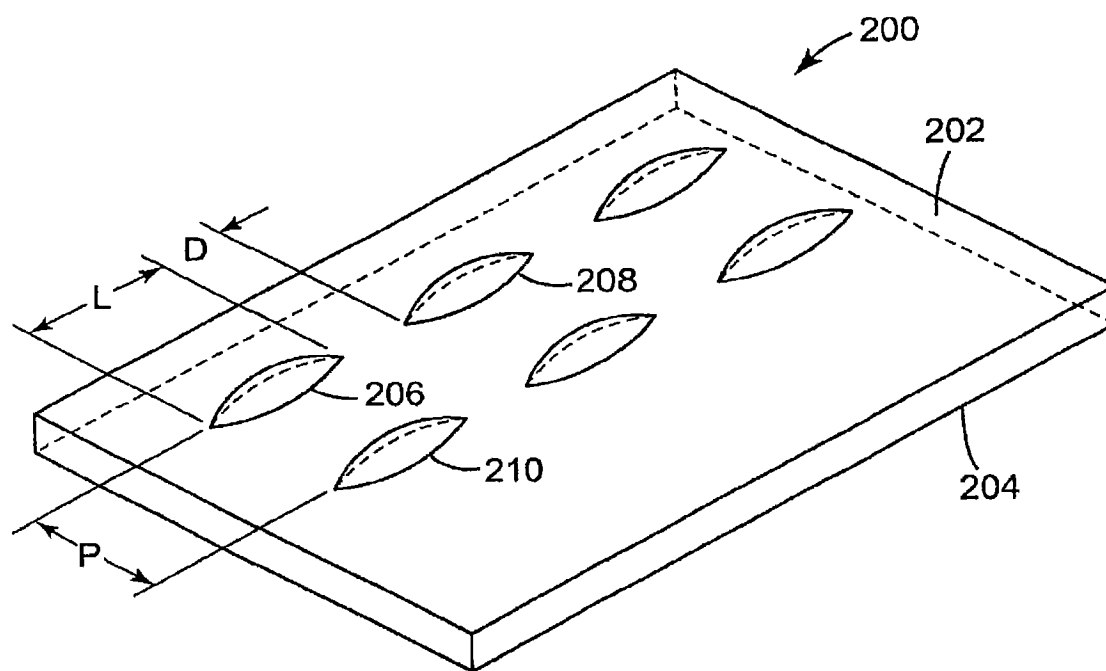


图 8