



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102348529 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 26

(21) 申请号 201080011500. 5

B23K 26/38(2014. 01)

(22) 申请日 2010. 02. 26

B23K 26/70(2014. 01)

B23K 26/40(2014. 01)

(30) 优先权数据

12/413, 084 2009. 03. 27 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 09. 09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/025639 2010. 02. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/110991 EN 2010. 09. 30

(73) 专利权人 电子科学工业有限公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 大迫康

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

代理人 刘国伟

(56) 对比文件

JP 2000-288752 A, 2000. 10. 17, 全文 .

JP 2000-288752 A, 2000. 10. 17, 全文 .

US 2002/0195012 A1, 2002. 12. 26,

CN 1115271 A, 1996. 01. 24, 全文 .

CN 1046303 A, 1990. 10. 24, 全文 .

JP 5-131286 A, 1993. 05. 28, 全文 .

JP 7-236988 A, 1995. 09. 12, 全文 .

审查员 吴贺贺

(51) Int. Cl.

B23K 26/042(2014. 01)

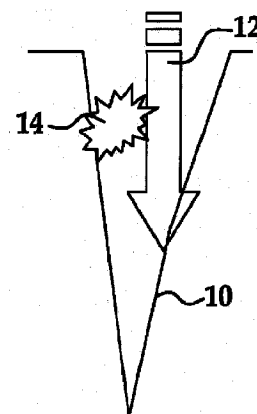
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

最小化在使用激光器的材料移除期间的热效应

(57) 摘要

通过以下方式来改善使用激光器切割片材料的工艺 :使用所述激光器的第一刀具路径执行第一多个路线且在使用所述第一刀具路径执行所述第一多个路线之后使用所述激光器的第二刀具路径来执行至少一第二路线,所述第二刀具路径从由于执行所述第一多个路线而由所述激光器形成的切口横过。可与横向移位同时实施 z 高度移位。通过移位所述刀具路径,通过最大化所述激光器与所述材料的耦合而最小化在激光处理期间产生的等离子体的干扰,从而导致所述材料的较少脱色及 / 或燃烧。



1. 一种使用激光器切割片材料的方法,其特征在于,所述方法包含以下步骤:

使用所述激光器的第一刀具路径执行第一多个路线,从而在所述片材料的表面中沿所述第一刀具路径形成切口,每一个路线使得所述片材料上沿所述第一刀具路径的深度加深;及

在使用所述第一刀具路径执行所述第一多个路线之后使用所述激光器的第二刀具路径来执行至少一第二路线,所述第二刀具路径从所述第一刀具路径沿所述片材料的顶部表面的方向移位,从而沿所述第二刀具路径将所述切口的宽度延伸一额外的量;其中执行所述第一多个路线在材料移除的线性区中发生,所述材料移除的线性区发生在使用第一刀具路径的额外路线继续移除材料而无饱和的迹象之处。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述激光器的脉冲为具有小于1微秒的上升时间的矩形脉冲。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法进一步包含:
确定所述第二刀具路径相对于所述第一刀具路径的移位。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于:所述第二刀具路径包括从所述第一刀具路径的 z 高度移位。

5. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法进一步包含:
确定所述第一多个路线的路线数目。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,确定所述路线数目包含:
通过实验确定所述材料移除的线性区;及
基于所述实验选择所述路线数目。

7. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于:确定所述路线数目包含:
使用所述第一刀具路径对所述片材料的样本执行至少三个路线;及
选择所述至少三个路线中的一者作为所述路线数目。

8. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其特征在于,执行至少一第二路线包含在执行所述第一多个路线和切割穿过所述片材料之后使用所述激光器的所述第二刀具路径执行多个第二路线。

9. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法进一步包含:

在执行所述至少所述第二路线之后使用所述激光器的第三刀具路径执行至少一第三路线,所述第三刀具路径包括从所述第一刀具路径的 z 高度移位。

最小化在使用激光器的材料移除期间的热效应

技术领域

[0001] 本发明一般来说涉及最小化从用于机械加工以从部件移除材料的激光器产生的热效应。

背景技术

[0002] 例如计算机数控 (CNC) 系统或金刚石锯割系统等机械系统是用以裁切塑料、金属片或无机板的主导工具。有时,此种应用需要用于裁切的尖锐拐角。在此情况下,需要小直径的钻头来实现所述尖锐拐角。通常,减慢工艺速度以避免这些钻头的损坏。有时,材料涂覆有易碎层。在此情况下,机械系统也减慢工艺速度以最小化易碎层中的破裂。替代工具是基于激光的系统,其可减少易碎层中的破裂及 / 或使小裁切特征可行。

发明内容

[0003] 本发明的实施例提供用以使用激光器切割片材料的工艺的改善。一个此种改善包含 (举例来说) 使用激光器的第一刀具路径执行第一多个路线且在使用所述第一刀具路径执行所述第一多个路线之后使用激光器的第二刀具路径来执行至少一第二路线,所述第二刀具路径从由于执行所述第一多个路线而由激光器形成的切口横过。

[0004] 当结合附图阅读以下说明时,所属领域的技术人员将明了关于本发明的此应用及其它应用的变化形式及细节。

附图说明

[0005] 本文中的说明是参照附图,其中在数个视图中相同的参考编号指代相同的部件,且附图中:

[0006] 图 1 是通过比较若干个路线对切割深度而展示蚀刻的饱和的曲线图;

[0007] 图 2A 及图 2B 是在激光处理期间切口的横截面的经简化示意图;

[0008] 图 3 是并入有本发明的实施例的系统的经简化示意图;

[0009] 图 4A 是由激光器产生的矩形脉冲的时间曲线;

[0010] 图 4B 是由 Rf 泵浦脉冲 CO₂ 激光器产生的慢上升或三角形脉冲的放大示波镜输出;

[0011] 图 4C 是针对具有两个不同时间曲线的不同激光脉冲比较材料中的温度上升的曲线图;

[0012] 图 5A 是通过多个矩形脉冲处理的切口的经放大俯视图;

[0013] 图 5B 是通过具有慢上升时间的多个脉冲处理的切口的经放大俯视图;

[0014] 图 6A 是在根据本发明的一个实施例的两步骤工艺的第一步骤中切割的切口的横截面的经简化示意图;

[0015] 图 6B 是在根据本发明的一个实施例的两步骤工艺的第二步骤中切割的切口的横截面的经简化示意图;

[0016] 图 6C 是在根据本发明的另一实施例的两步骤工艺的第二步骤中切割的切口的横截面的经简化示意图；

[0017] 图 7A 是在根据图 6A 的第一步骤中的激光路线的经简化平面图；

[0018] 图 7B 是在根据图 6B 或图 6C 的第二步骤中的激光路线的经简化平面图；

[0019] 图 8 是根据在根据图 6A 的第一步骤中的变化数目个激光路线处理的切口的经放大横截面图；及

[0020] 图 9 是展示关于图 6A 到图 6C、图 7A 及图 7B 所描述的各种工艺方法的烧蚀对路线数目的曲线图。

具体实施方式

[0021] 当通过激光器裁切例如塑料、聚合物或金属片等厚材料的一部分时，热效应呈现为钝边缘，尤其在拐角上或小曲率上。钝边缘与其它区域不同地反射光，且结果是热环沿所切割切口呈现。当切口在塑料片内部足够深时，蚀刻速率倾向于饱和，如下文更详细地论述。切口内部可产生火焰。作为结果发生的沿切口的熔融及碳化使工艺质量及所得产品的质量降级。

[0022] 在使用包括光纤激光器的固态激光器或气体激光器的情况下，通常需要单个路线的多个重复来切割穿过厚材料，此取决于蚀刻速率。即使此种工艺通过大脉冲能量或功率在单次路线上减少这些问题，仍可在材料内部载入热量。因此，例如钝边缘或者膨胀或脱色等热效应可在切口处呈现。

[0023] 本发明的实施例寻求通过最大化激光器与正在处理的材料之间的耦合而最小化热效应且优化材料移除。

[0024] 在由特定材料制成的部件的激光烧蚀期间，使用激光器来获得干净的工艺，所述激光器具有具有高吸收的波长且具有短脉冲（与材料的热松弛时间相比）。

[0025] 当将具有大脉冲能量或高功率的高流量施加到材料时，随着切口变得更深，因激光烧蚀而产生的等离子及 / 或细小粒子捕集于切口内部。接着，等离子及 / 或粒子与入射束之间的交互变得显著，因此产生饱和。图 1 展示其上具有相对厚的易碎涂层的约 1mm 厚聚碳酸酯或 ABS 衬底的此饱和的实例。如图 1 中所示，随着路线的数目增加，所实现的深度类似地增加。此增加对于少量路线为大致线性的。然而，一旦路线的数目达到某一点（此处为在约 6 个路线处），蚀刻开始饱和。也就是说，热效应干扰路线，使得不能够实现增加的深度。

[0026] 在不受理论限制的情况下，数个损失机制被视为有责任，等离子对入射激光束的吸收，入射束通过小粒子的散射、焦深及 / 或强度变化。举例来说，在数个路线之后，激光强度在切割中可不如在顶部表面处深。等离子对激光的吸收与波长成比例。散射与波长的四次幂成反比。经由吸收的交互增加等离子体的温度，此可使附近材料变热。此外，等离子对入射束的吸收可导致工艺速度及质量的降低。此图解说明于图 2A 及图 2B 中。图 2A 是在使用激光器（由入射束 12 表示）的第一路线之后的切口 10 的横截面。在用以增加切割的深度的随后路线期间，等离子（被烧蚀材料）14 在蚀刻期间累积且可捕集于切口 10 的沟槽中。

[0027] 一个可能的解决方案是执行随后的路线，同时改变刀具路径中的激光参数，尤其是改变激光束及 / 或工件的 z 轴（z 高度）位置，如图 2B 中示意性地展示（未按比例）。通

过改变 z 轴位置,比原本在使用第一刀具路径的重复的路线的情况下将发生的更多的入射束 12 可经由等离子 14 到达切口 10,因为等离子 14 不阻挡入射束 12 的整个路径。可通过激光器的路线中的横向移位(例如,激光束及/或工件的 x 轴移位)来实现关于最小化或避免等离子 14 的干扰的额外益处,使得一个或一个以上额外路线在原始路线附近发生,但增大等离子 14 可捕集于其处的区域以使得其更容易地分散。下文更详细地描述本发明方法及其工艺控制的细节。

[0028] 本发明的实施例可并入到例如在 2008 年 7 月 31 日公开的第 2008/0179304A1 号美国专利公开案中所描述的对激光系统的控制中,所述美国专利公开案的整体内容以引用方式并入本文中。图 3 展示本发明可并入于其中的处理一片片材料 16 的激光系统的一个实例。在图 3 中,连续波 (CW) CO₂ 激光器 18 及声光调制器 (AOM) 20 配置为亚微秒激光功率控制器/光闸。也可使用准 CW CO₂ 激光器。AOM 20 也配置为 CW 激光器 18 的脉冲发生器。在另一实施例中,AOM 20 可配置为脉冲激光器的脉冲选择器。AOM 20 也可经配置以用于调整脉冲能量及重复速率,使得处理可不仅在恒定速度周期期间发生,也可在加速及减速周期期间发生。任选地定位于 CW 激光器 18 与 AOM 20 之间的是隔离器 22(举例来说,其为布鲁斯特窗)及光闸 24。如果隔离器 22 及光闸 24 经并入,那么准直仪 26 可任选地定位于隔离器 22 与光闸 24 之间。

[0029] 依据由 AOM 20 选择的偏转角度,激光束被从 AOM 20 引导到束流收集器 28 或经由反射相位延迟器 (RPR) 32 引导到第一反射镜 30。第一反射镜 30 经由任选变焦距透镜系统 34 将来自 AOM 20 的激光束引导到第二反射镜 36,第二反射镜 36 引导激光束穿过光圈 38。光圈 38 包含位于激光束路径中邻近第二反射镜 36 的第一透镜 38a、邻近第一透镜 38a 的光圈 38b 及位于光圈 38b 的相对侧上的第二透镜 38c。可将第一透镜 38a 改变为空间修改元件,例如衍射光学器件。可将大礼帽束与此些衍射光学器件一同使用。此外,替代第二反射镜 36,可并入分束器以除将激光束的一部分引导到光圈 38 外也将激光束的一部分引导到功率监视器,所述功率监视器经配置以将激光功率控制提供到 AOM 20。光圈 38 将激光束引导到位于 X 、 Y 台(载物台)上的处理头。为简单起见,由透镜 40 表示处理头及载物台。处理头将激光束引导到在额外台工作表面 42 上对准的片材料 16。当然,且如也在 2008 年 7 月 31 日公开且整体内容以引用方式并入本文中的第 2008/0181269A1 号美国专利公开案中所描述,系统可并入有额外组件,例如一个以上 AOM 20,以将多个激光束从 CW 激光器 18 分布到多个处理头。所展示的分片式 CW 激光器 18 的一个益处是其使得光圈 38 能够在脉冲间持续时间期间冷却且避免光圈 38 中的过度热负载。

[0030] 从以上说明可清楚,此布置中可存在变化,且本发明的实施例可并入到各种系统配置中。作为额外实例,尽管包括 RPR 32 以确保片材料 16 的表面处的入射束 12 圆偏振以帮助实现均匀的工艺而不管工艺方向如何,但此组件并非是必需的。此外,AOM 20 提供尖锐矩形脉冲,且将光圈 38b 处的经消减束传送到片材料 16 的光圈 38b 与三个透镜 38a、38c、40 的组合提供尖锐空间边缘。根据某些实施例,期望具有一个或两个组件。然而,两者均非是必需的。如本文中所描述,举例来说,可在本发明的实施例中使用来自 CW 激光器 18 的慢上升时间脉冲,但此是较不期望的。

[0031] 至少一个控制器 44 并入到图 3 的系统中以控制各种组件,例如载物台及 AOM 20。控制器 44 可为标准微控制器,其包括中央处理单元 (CPU)、随机存取存储器 (RAM)、只读存

存储器 (ROM) 及接收输入信号及发送控制系统且执行如本文中所描述的某些工艺步骤所需要的输出信号的输入 / 输出端口。本文中所描述的功能通常是存储器中所存储的编程指令且由 CPU 的逻辑执行。当然, 执行本文中所描述的功能的控制器可为使用外部存储器的微处理器或可包含与其它集成逻辑电路组合的此种微处理器或微控制器的组合。控制器 44 通常并入到具有用于输入用于工艺控制的命令且用于监视工艺控制的屏幕及输入装置 (例如, 键盘) 的个人计算机中或与所述个人计算机一起工作。

[0032] 根据本文中的教导, 通过最小化接触烧蚀部 14 的入射束 12, 可通过使激光功率的仅用于使片材料 16 变热因此产生材料的变形及 / 或脱色的部分最小来改善激光器 - 材料耦合。

[0033] 图 4A 表示具有使用根据图 3 的系统产生的小于 $1 \mu \text{sec}$ 上升时间的所谓矩形脉冲。与所谓的三角形脉冲相比, 矩形脉冲并入有相对短的上升时间, 三角形脉冲具有相对长的上升时间, 使得脉冲花费较长时间达到升高的温度以烧蚀片材料 16。此种慢上升时间脉冲的示波器输出展示于图 4B 中。在图 4B 中可见, 脉冲上升时间为约 $300 \mu \text{sec}$ 且脉冲宽度接近 $400 \mu \text{sec}$ (FWHM)。

[0034] 可使用热量方程式 (1) 来估计材料的热动力学, 也就是说, 基于热量源 (例如, 激光脉冲) 的施加, 材料随时间多么快地发热及变凉:

[0035] $\partial T / \partial t = k \nabla^2 T + \alpha * I(x, y, z) * V / c_p$; 其中

[0036] $T(x, y, z, t)$ 为材料在空间及时间上的温度;

[0037] k 为材料的热导率;

[0038] α 为材料的吸收系数;

[0039] $I(x, y, t)$ 为入射辉光的未被反射部分;

[0040] V 为材料的摩尔体积;

[0041] c_p 为材料热容量; 且

[0042] $k \nabla^2 T = \partial / \partial x (k \partial T / \partial x) + \partial / \partial y (k \partial T / \partial y) + \partial / \partial z (k \partial T / \partial z)$ 。

[0043] 图 4C 是使用热量方程式 (1) 的修改形式执行的模拟以通过两种不同类型的激光脉冲模拟热动力学。所使用的两个脉冲的形状为具有相同峰值 (如图 4A 及图 4B 的实例性波形中所展示的每单位 1) 的大体三角形, 但其具有不同时间曲线。一个脉冲具有 $5 \mu \text{sec}$ 上升时间, 而另一脉冲具有 $100 \mu \text{sec}$ 上升时间。对于相同材料, 模拟展示上升时间中的大差异将影响在材料中升高温度的效率且因此影响烧蚀的效率。因此, 片材料 16 载入有内部热量, 其在延长的上升时间期间影响壁及边缘质量。

[0044] 为检验模拟, 使用 CO_2 激光器以不同时间曲线 (也就是说, 快速上升时间脉冲及慢上升时间脉冲) 切割穿过塑料片, 且结果展示于图 5A 及图 5B 中。图 5A 展示通过 CW 激光器 18 及 AOM 20 (快速上升时间脉冲) 切割的切口轮廓, 且图 5B 展示通过普通脉冲 CO_2 激光器 (慢上升时间脉冲) 切割的切口轮廓。图 5B 中的切割的初始点展示更显著的热效应。也就是说, 使用矩形脉冲激光处理的图 5A 中的切口轮廓比使用具有相对慢的上升时间的脉冲激光处理的图 5B 中的切口轮廓展示更小的热效应, 例如脱色及燃烧。此测试证实所述模拟。当材料移除速率饱和时, 效率走低。较多激光功率用于加热等离子及邻近材料。作为结果发生的效应是使切口壁熔融及 / 或增大切口及 / 或因使顶部涂层层离而使顶部表面脱

色。在图 5B 中可见,三角形脉冲还产生更大直径切口。当需要具有小锥度的壁时,期望避免产生等离子引发的燃烧。在十一个路线之后此种热效应展示于图 8 中在切口的边缘中,如下文所描述。本发明的实施例更期望使用快速上升时间脉冲(例如,矩形脉冲),因为其更易于避免此种产生,且本文中所展示的实例使用此种脉冲。然而,也可使用较慢上升时间脉冲。

[0045] 关于图 6A 到图 6C、图 7A 及图 7B 更详细地描述根据本发明的一种工艺。广义上,所述工艺包含至少两个步骤。第一步是使用根据第一刀具路径(举例来说,通常存储为刀具路径文件以供控制器 44 实施)执行若干个路线的激光器移除材料。第一步优选地在材料移除的线性区中执行,也就是说,使用第一刀具路径的额外路线继续移除材料而无饱和的迹象之处。换句话说,线性部分意指输入功率线性地用于材料移除。当坡度减小时(举例来说,如图 1 中所示),材料移除的效率走低。然而,在一些情形中,尤其在线性区较小且/或切口 10 的所需深度较深的情况下,第一步可继续到饱和区中。此在完成的边缘的要求是使得其外观上存在一些灵活性的情况下尤其如此。图 6A 展示在根据多个路线的第一步期间形成切口 10 的激光器的入射束 12。通常在第一步中移除材料的大部分。

[0046] 第二或最后步骤涉及使用第二刀具路径通过从第一刀具路径的横向移位(也就是说,从由第一步产生的轨迹(此处,图 6A 中所示的切口 10)的横向移位)执行至少一个额外路线。当然,本发明并不限于第二步且可包括额外步骤,其中进一步调整 x 轴、z 轴或两者。图 6B 展示在借助此种横向移位的第二步期间图 6A 的切口 10。此第二步允许激光器(例如 CW 激光器 18)与材料更好地耦合,因为较少入射束 12 由等离子(被烧蚀材料)14 吸收及/或偏转。也就是说,可最小化烧蚀的饱和,因为激光束路径不被引导到等离子 14。图 6B 展示包括横向移位(也称为 x 轴移位)及如前文关于图 2B 所论述的 z 轴移位两者的替代第二步。根据此实施例,第二步还改善锥度以移除切口 10 的底部附近的材料且改善壁质量。由于在第二步的路线中材料与激光器(具体来说,入射束 12)的更好耦合对继续根据第一刀具路径施加路线,最小化热效应。

[0047] 参照图 7A 及图 7B 更清楚地描述横向移位或 x 轴移位。在可能的情况下,第一步在工艺变得饱和之前烧蚀一些材料,且提供小于所要的切口宽度 w_2 的所规定尺寸的切口宽度 w_1 。举例来说,第一刀具路径施加多个路线以形成圆圈,如图 7A 中所示。接着,第二步以沿横向(x 轴)方向的一些移位施加第二刀具路径的一个或一个以上路线,如图 7B 中所示。对于第二步,也可调整 z 高度以用于更深切割,如关于图 6C 所描述。以此方式,第二步提供如虚线所示的所要切口宽度 w_2 的切口 10 且也可与 z 轴移位相关联。

[0048] 如图 7A 及图 7B 中所示,切割为圆形切割,从而产生圆形切口 10。然而,本发明可适用于其它切割,包括具有线性段的切割。任何情况下的第二刀具路径可并入有相对于切口的中心或由第一步产生的轨迹的横向移位。如果应用是裁切,且被移除件(例如,图 7A 中的圆形件)的质量不重要,那么如所属领域的技术人员已知,第一步可为相对迅速的切割,只要其在第二步之后不留下太多热效应即可。以此方式,可以最佳参数施加第二步以实现最小热效应,同时产生开口的干净边缘。

[0049] 如所提及,最优选地在材料移除的线性区中执行第一步中的若干个路线。此线性区取决于材料的受热量影响的地带。在已知的受热量影响的地带的范围的情况下,进行 x 及/或 z 移位以扩大线性区,从而界定具有适当横向移位的多个刀具路径文件。参照图 8

及图 9 最好地解释这些步骤的细节。

[0050] 在图 8 及图 9 的实例中,片材料 16 为具有 $30\text{ }\mu\text{m}$ 厚的易碎涂层的约 1mm 厚塑料(聚碳酸酯)。期望边缘在激光处理之后为尖锐的。在单个路线中,受热量影响的地带与脉冲宽度的平方根成比例。也就是说,可通过方程式 (2) 大致估计扩散长度或受热量影响的地带:

[0051] $2 * \sqrt{k * T_p}$; 其中

[0052] k 为热(热量)导率;且

[0053] T_p 为脉冲宽度。

[0054] 由于此关系,优选地使用短脉冲,但材料移除速率随着脉冲能量而增加,脉冲能量为脉冲宽度与峰值高度的乘积。为限制此测试的变量,峰值高度是固定的。因此,脉冲宽度是针对热效应及通量而要调整的变量。即使当在第一步骤路线之间包括给予材料冷却的时间的时间时及当调整重复速率时等等,材料移除速率也随着路线的数目增加而饱和,大概是由于吸收许多入射束的等离子限制于沟槽内部。

[0055] 虽然方程式 (2) 大致估计在一个路线中受热量影响的地带,但此估计的准确性随着路线的数目而快速降低。受热量影响的地带在热效应但非烧蚀在其处发生的切口外部。可将蚀刻深度估计为材料的吸收系数的倒数。给定蚀刻深度,可使用基于实验(例如图 1 中所示的实验)的经验性方程式来预测线性区。

[0056] 或者,可在执行一个以上路线时修改热量方程式 (1) 以在空间及时间上估计材料的热动力学,且因此其可用于估计受热量影响的地带。

[0057] 如本文中所述,以实验方式完成界定受热量影响的地带及确定第一及第二数目个路线连同横向及/或 z 轴(或 z 高度)移位。给定所需切口轮廓及包含具有 $30\text{ }\mu\text{m}$ 厚的易碎涂层的约 1mm 厚塑料(聚碳酸酯)的片材料 16,以常规方式应用选择脉冲特性的方法。此使用具有 $5.1\text{ }\mu\text{sec}$ 长的脉冲的 50KHz 激光器以 150mm/s 的路线速度产生实验条件。光圈 38 具有 $500\text{ }\mu\text{m}$ 的直径以将束的功率消减 20% ,且所得脉冲在 25KHz 下具有 95% 的负载循环。

[0058] 执行第一步骤中的若干个路线且以路线数目 1、3、5、7、9 及 11 进行对深度的测量以便确定材料移除的速率何时饱和。如图 8 中所示,饱和在五(5)个路线之后开始。此处,针对第一步骤选择的路线的数目为五(5)个路线。没有必要挑选线性区中的路线的数目,但在需要干净边缘且材料具有较宽线性区的情况下此为优选地。依据对边缘质量的要求,可选择较大数目个路线。可根据边缘质量(例如,锥度及通量)来确定针对第二步骤沿 x 轴移位多少。如果与切口宽度相比移位太小,那么可不能以线性方式更远地深入到材料中。在不受理论限制的情况下,这是因为所产生的等离子 14 不具有足够的空间扩展(散出)以减小其与入射束 12 之间的耦合。

[0059] 此处,以实验方式确定移位量。 z 高度(也就是说, z 轴方向)上的移位量可取决于材料,但目标是找出最佳移位量以便以线性方式将移除速率扩展超过单步骤工艺将如此以移除额外材料同时最小化损坏的点。第一路线与随后的路线在空间上彼此重叠。

[0060] 图 9 展示各种工艺方法中的烧蚀对路线数目。单步骤工艺仅增加路线的数目而不改变第一刀具路径的任何参数。第二步骤并入有横向移位(x 移位)及/或 z 高度改变。在

图 9 中可见,作为第二步骤的具有横向及 z 高度调整的两步骤工艺改善烧蚀工艺,因为可在减小的热效应的情况下实现切割的额外深度。在图 9 中,路线的总数目为第一及第二步骤中的路线的和,其中第一步骤包含五 (5) 个路线。x 轴移位为 $50\text{ }\mu\text{m}$,而 z 高度从顶部表面移动到顶部表面以下 $700\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0061] 本发明的实施例通过添加包括横向及 / 或 y 轴移位的第二步骤而最大化激光器与材料之间的耦合。此获得具有最小锥度及尖锐切口边缘的壁。获得具有最小锥度及尖锐切口边缘的壁。所述壁还显示最小热效应,例如过度熔融及脱色。因此,处理期间材料的移除得到优化。

[0062] 虽然已结合某些实施例描述了本发明,但应理解,本发明并不限于所揭示的实施例,而是相反,本发明既定涵盖所附权利要求书的范围内所包括的各种修改及等效布置,所述范围与最广泛的解释一致,以便包含法律准许的所有此些修改及等效结构。

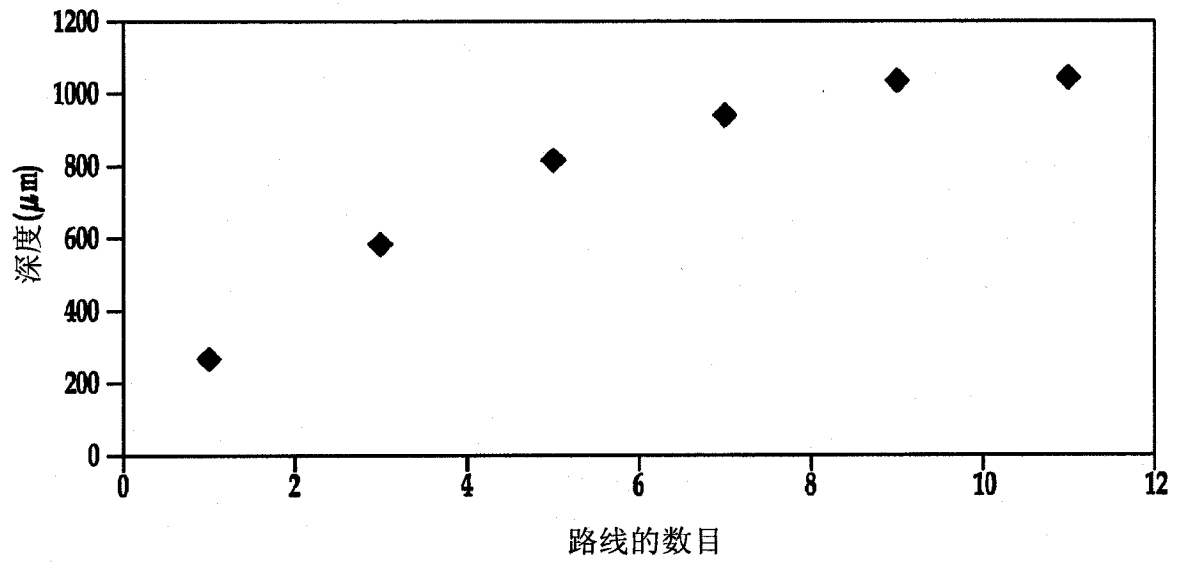


图 1

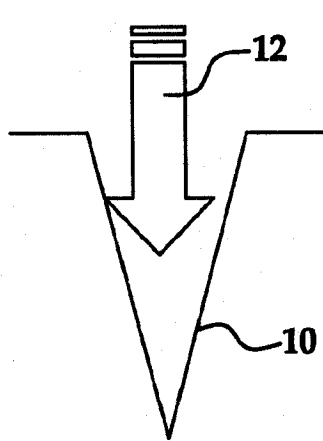


图 2A

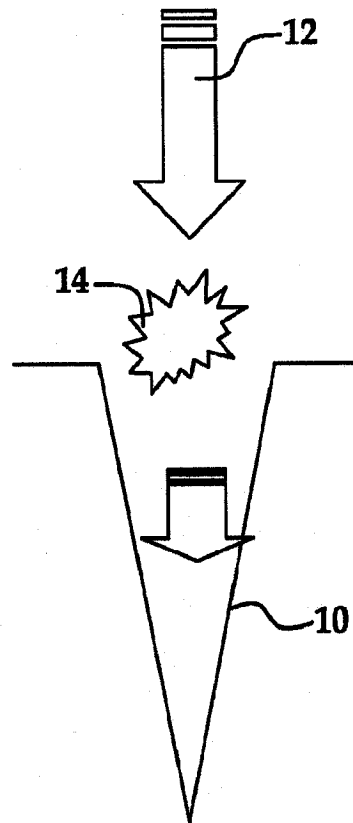


图 2B

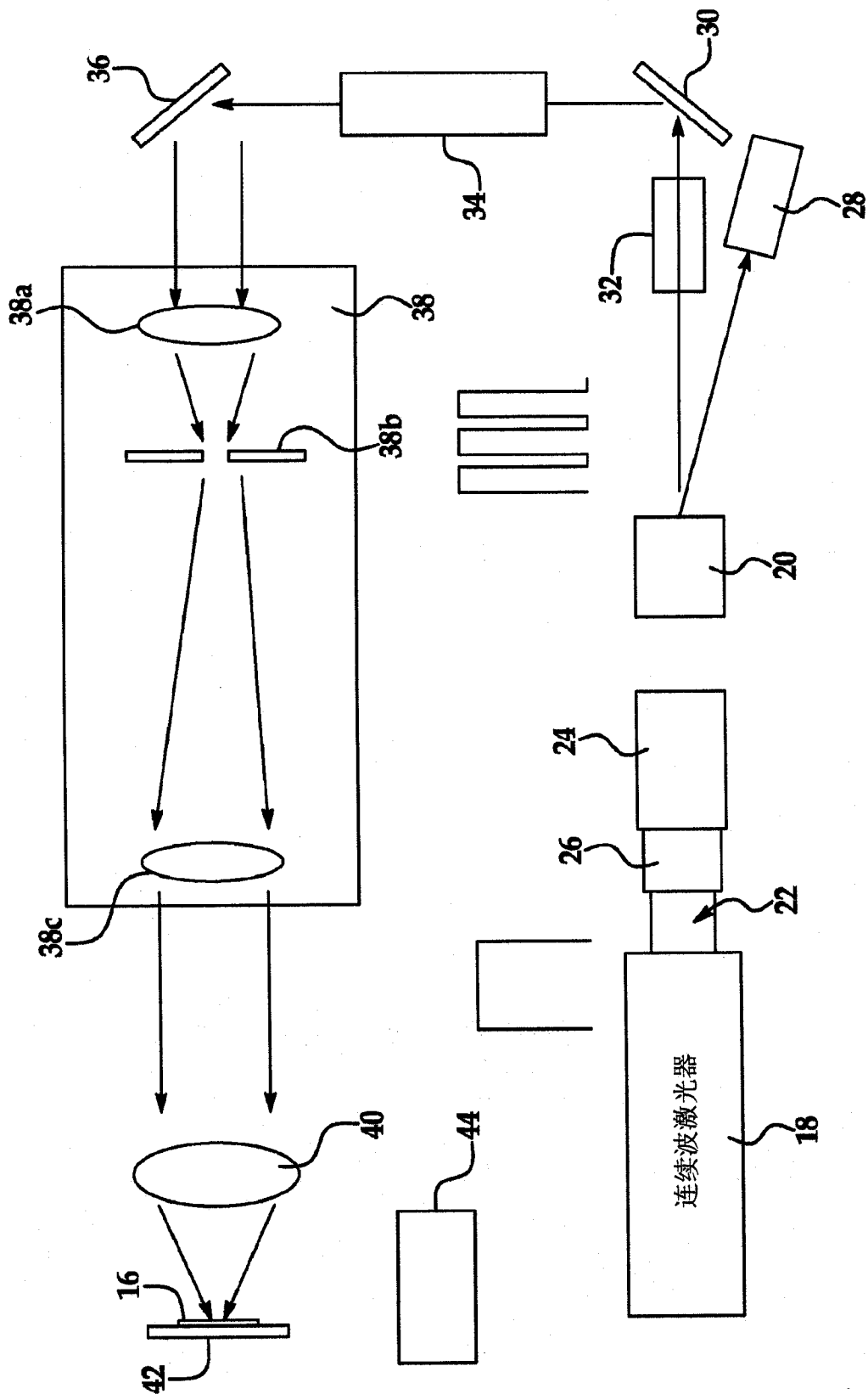


图 3

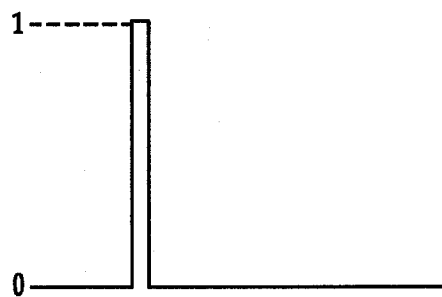


图 4A

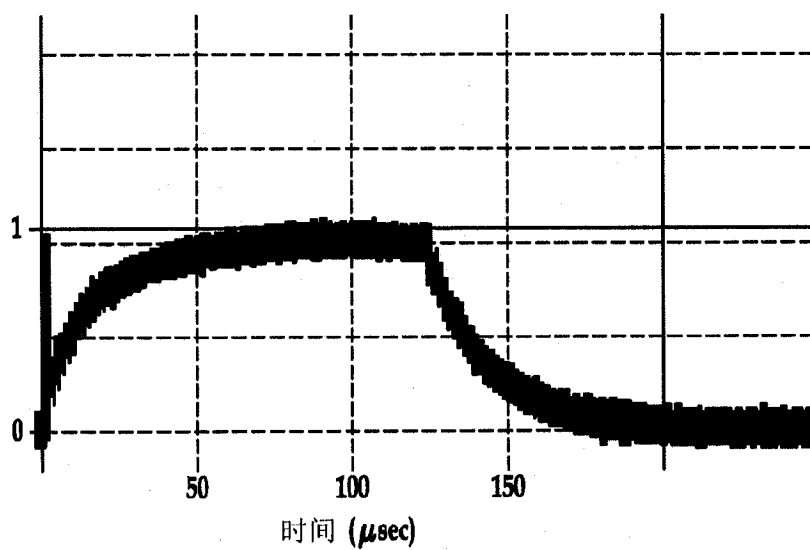


图 4B

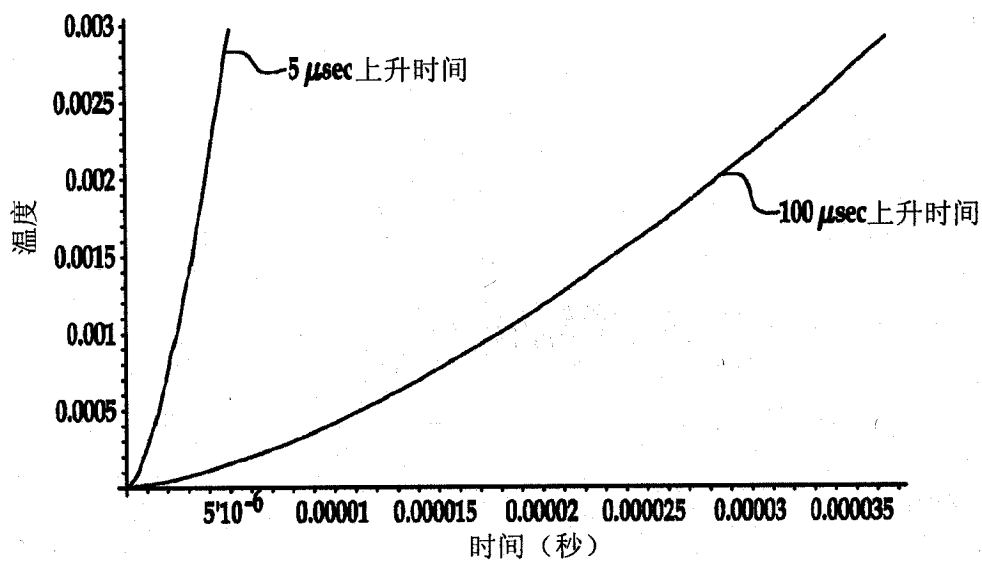


图 4C

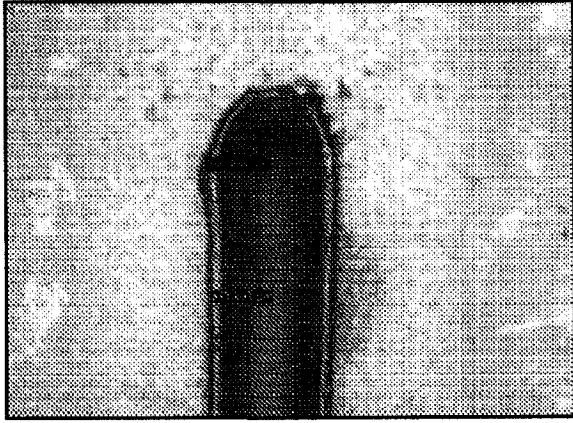


图 5A

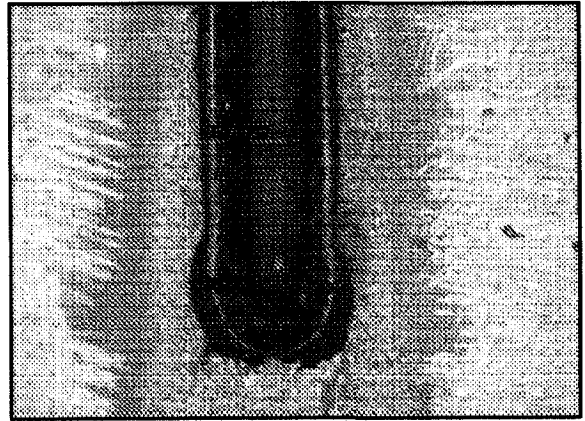


图 5B

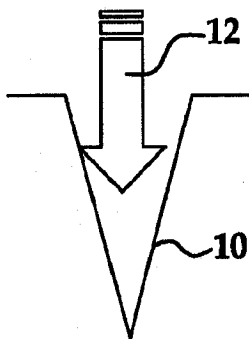


图 6A

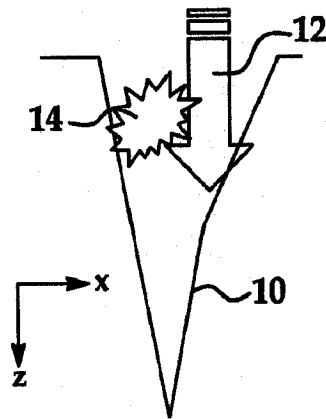


图 6B

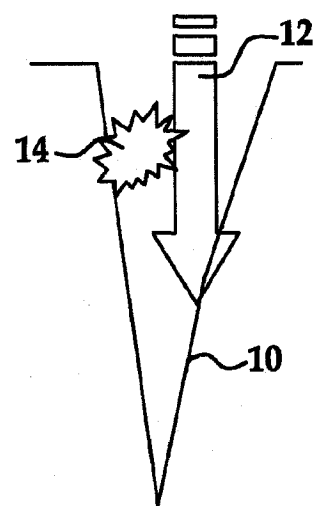


图 6C

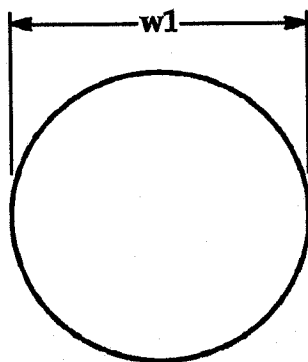


图 7A

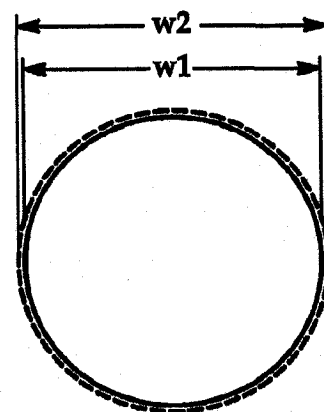


图 7B

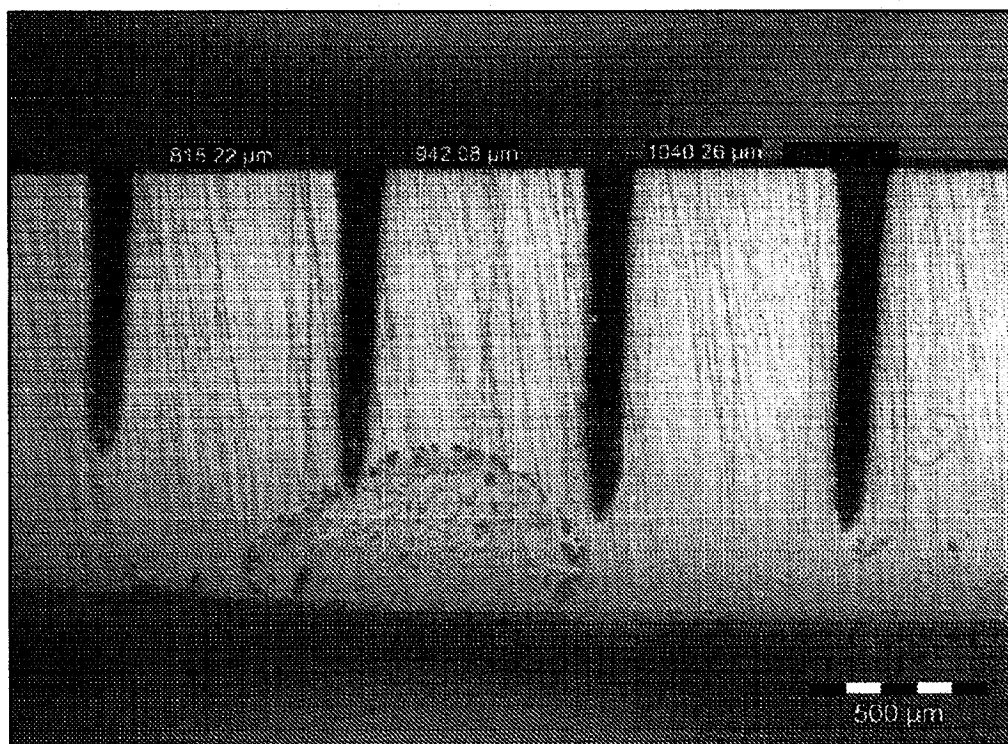


图 8

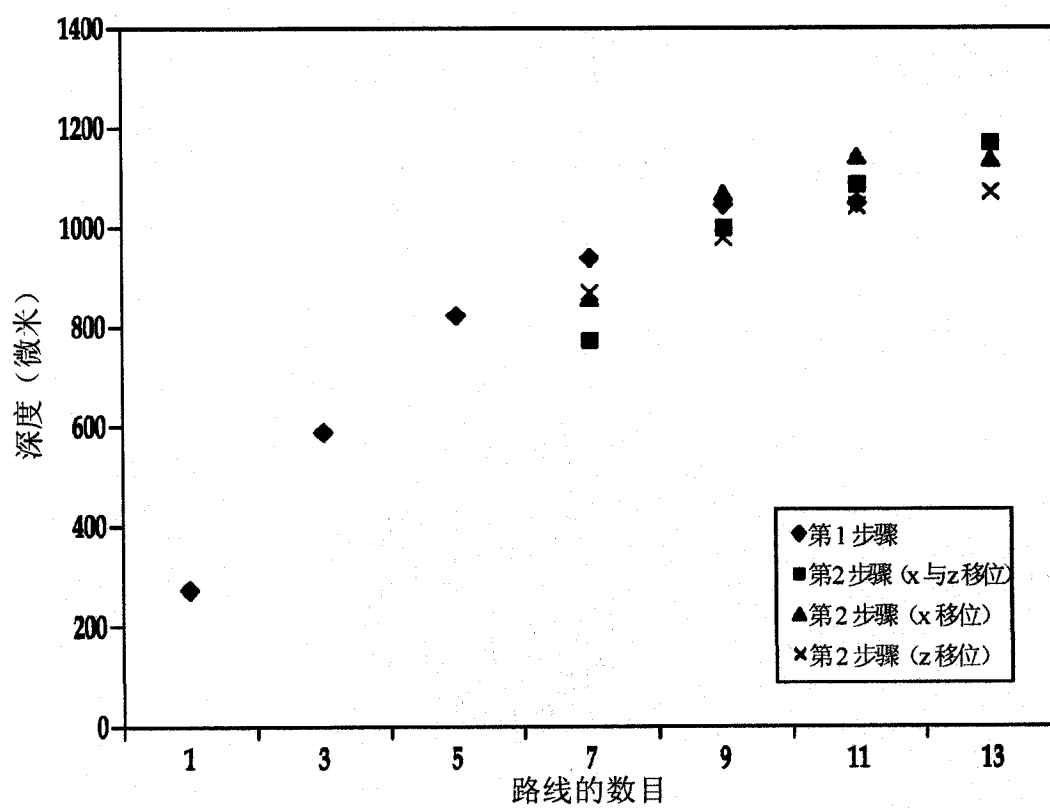


图 9