



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102785031 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 21

(21) 申请号 201210290741. 9

(22) 申请日 2012. 08. 15

(71) 申请人 武汉隼龙科技有限公司

地址 430030 湖北省武汉市东湖开发区高新
大道 999 号

(72) 发明人 王辉文 郭琛

(74) 专利代理机构 武汉楚天专利事务所 42113

代理人 孔敏

(51) Int. Cl.

B23K 26/38 (2006. 01)

B23K 26/06 (2006. 01)

C03B 33/02 (2006. 01)

B28D 5/04 (2006. 01)

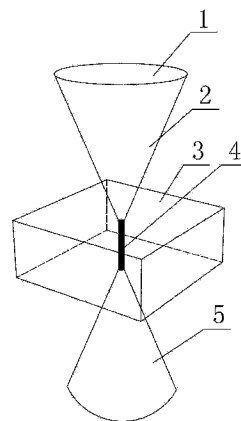
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法及切割装置

(57) 摘要

一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,通过聚光装置将从超短脉冲激光发生装置输出的超短脉冲激光进行聚光形成聚束激光束,聚束激光束从被加工的透明材料的表面入射,激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构,激光沿波导结构向材料内部传输,在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构,直到整个波导结构和激光贯穿透明材料,然后使激光垂直于透明材料的表面匀速移动即可在透明材料中形成一个波导平面。本发明还提供一种利用超短脉冲激光的透明材料切割装置。本发明切割速度快、切缝小、无耗材、无粉尘污染,加工后的材料在承受适当外力时,材料只会沿应力缺陷面断裂,断裂面几乎无锥度,粗糙度良好。



1. 一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,其特征在于:通过聚光装置将从超短脉冲激光发生装置输出的超短脉冲激光进行聚光形成聚束激光束,所述聚束激光束从被加工的透明材料的表面入射,所述聚束激光束在材料上引起折射率的变化,激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构,激光沿波导结构向材料内部传输,在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构,直到整个波导结构和激光贯穿透明材料,然后使激光垂直于所述透明材料的表面匀速移动即可在透明材料中形成一个波导平面。

2. 如权利要求1所述的利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,其特征在于:所述超短脉冲激光是指脉冲宽度为皮秒(10-12s)、飞秒(10-15s)级的激光。

3. 如权利要求1所述的利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,其特征在于:所述被加工的透明材料为玻璃、宝石材料或退火强化玻璃。

4. 一种利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,其特征在于包括:

超短脉冲激光发生装置,用于产生超短脉冲激光光束;

聚光装置,用于对超短脉冲激光发生装置产生的超短脉冲激光光束进行聚焦形成聚束激光束;

所述聚束激光束从被加工的透明材料的表面入射,所述聚束激光束在材料上引起折射率的变化,激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构,激光沿波导结构向材料内部传输,在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构,直到整个波导结构和激光贯穿透明材料;

移动工作台,用于放置所述透明材料并可匀速移动使得激光垂直于所述透明材料的表面匀速移动,进而在透明材料中形成一个波导平面。

5. 如权利要求4所述利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,其特征在于:所述超短脉冲激光是指脉冲宽度为皮秒(10-12s)、飞秒(10-15s)级的激光。

6. 如权利要求4所述利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,其特征在于:所述被加工的透明材料为玻璃、宝石材料或退火强化玻璃。

一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法及切割装置

技术领域

[0001] 本发明一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法及切割装置。

背景技术

[0002] 在目前的透明基板或者晶圆加工中,主要还是采用砂轮切割或者钻石刀划线之后用机械辊压裂的方法,切割速度最高为 30mm/s。此方法主要缺点是产生的切割边缘质量较差,会产生大量的碎屑和需要大量去离子水,去离子水会产生环境污染,虽然去离子水可以被提炼循环使用,但是仍然不能避免污染同时也会增加运行成本。

[0003] 此外,目前显示行业逐渐大量开始采用退火强化玻璃,而采用钻石刀或者砂轮切割的方式会造成应力缺陷点从而降低整片玻璃的强度。另外,在晶圆切割中工件 / 芯粒与工件 / 芯粒之间所预留的间隙越来越小,这也限制了机械切割方法的使用。

[0004] 目前激光精切割已经应用于许多透明材料切割,其中切割方法大致上可以分为三种:消融、热膨胀、激光内切割。[激光内切割技术,王安平,李正佳等,《激光杂志》2001 年第 5 期],所采用的激光器包括二氧化碳激光器、固体激光器等。但是在这些材料的精密切割加工方面,激光加工还有着许多不能解决的问题,如切割边缘或切割表面粗糙、切割后存在残余的应力缺陷、切割缝宽深比例受限制等,这些妨碍了激光切割在透明材料精密加工上的应用,使其至今仍然不能有效地取代钻石刀和砂轮。

[0005] 1996 年, Davis 等人报道了聚焦飞秒激光可诱导透明介质内折射率的增加,并且利用飞秒激光的这种特性加工出微光波导 [Davis K M, Miura K, Hirao K, 1996opt. Lett. 211929]。

[0006] 超短脉宽激光器会导致材料折射率的变化,这个变化可以分为两类:(1) 通过非线性作用在焦点处使材料的折射率升高形成波导;(2) 焦点处折射率降低,焦点周围折射率间接升高,在晶体中写入多条径迹,径迹之间形成波导[请参见《光学晶体波导中的激光和非线性效应》山东大学谭杨博士学位论文]。利用超短脉冲激光能在材料中形成光波导已经成为基本共识。

[0007] 从 90 年代开始,国内外许多的研究人员在进行利用超短脉宽激光制造波导的研究,其中有部分研究人员发现在一定条件下超短脉宽激光在某些透明材料中可形成丝状、沿激光方向大的折射率变化区域,直径在几微米到几十微米,长度在几十微米左右。[利用飞秒激光在透明固体材料中制作光波导的装置及方法中国专利申请号:200810154742.4,南开大学,涂成厚 张双根 吕福云 李勇男 王宏杰]描述了一般性的激光波导制作方法,提出了一种激光波导的制作装置。[在透明电介质材料内部制备波导光栅的方法,中国专利申请号:200610011685.5,北京大学,李焱、刘大勇、杨宏、龚旗煌],[利用超短激光脉冲制备平面光波导的方法,中国申请号:02121176.0,北京大学,龚旗煌、罗乐、蒋红兵、郭亨长、杨宏]利用超短脉冲激光形成波导,同时控制材料或者工件移动,得到自己所需要的波导形状。所有此类或者专利研究基本都基于激光单脉冲形成的波导点,然后通过激光或者工件的运动将这些点连接或者排列起来。此外所有的这些波导点的尺寸都非常的小,仅仅在

几微米到几十微米之间,即使是最长的丝状波导点也不会超过 100 微米,否者会由于输入脉冲能量过大直接破坏材料反而不能形成波导。所以目前此类利用超短脉宽激光器制作波导或者利用此原理制作其他器件的研究,激光器实际输出功率都非常小,数量级在瓦或一下,而工件或者激光移动速度也会非常低,最大也只有数十毫米每秒。更重要的是,只能在材料内部利用大数值孔径的聚焦形成波导点,如果激光焦点过于靠近材料上或者下表面,材料会被直接破坏。

[0008] 在目前的玻璃或者透明材料晶圆激光切割方面,有许多的新技术和专利,例如,用二氧化碳激光或者紫外激光和水射流配合。[美国专利第 5609284 号 (Kondratenko);美国专利第 6787732 号 (Xuan)],在极速且位置接近的加热然后冷却的条件下,产生剧烈变化的膨胀和收缩,产生并诱导裂缝深入材料,但是此方式在进行曲线切割时容易造成切向裂纹。

[0009] [光学学报 6881-46,采用 100 千赫兹,10 瓦飞秒激光进行平板显示器玻璃高速切割, M. Kamata, T. Imahoko, N. Inoue, T. Sumiyoshi, H. Sekita, Cyber Laser Inc. (日本); M. Obara, Keio Univ. (日本)]描述了一种划线平板显示器 (FPD) 玻璃高速切割技术。采用重复频率 100kHz 钛宝石啁啾脉冲放大激光器,倍频输出波长 780 纳米,脉宽 300 飞秒,单脉冲能量 100 皮焦,直接聚焦在玻璃基板下表面附近,由于高峰值能量超出材料的破坏阈值产生空隙,相连的空隙产生的内部膨胀应力以及热冲击,使得玻璃材料在沿激光方向出现切割面。虽然这种方法可能提供极高的切割速度,可达 300 毫米/秒,但是会在材料内部形成空洞,并产生较大的切口宽度,切割后则工件会出现表面损伤,切割面粗糙度较差,下表面会出现切割碎屑的附着。

[0010] [中国专利公开号 CN101391860A,利用超短脉冲激光束的激光切割装置及其切割方法,李晚燮,法里德·艾哈迈德,闵喆基]采用飞秒或者皮秒激光进行玻璃切割,但是切割方式和[激光内切割技术,王安平,李正佳等,《激光杂志》2001 年第 5 期]所提出的玻璃内切割相似,依然是采用对材料的破坏的方式进行加工,由于短脉宽激光在透明材料内部形成纵向内部微爆裂痕迹产生的线性切痕,在工件运动状况下形成切割槽。原理上仍然和内切割或者玻璃内雕相似,缺点在于单次加工在玻璃内部形成的切割槽不能直接贯通材料,需要改变焦点在材料内部的深度进行多次切割,使不同深度的切割槽相连才能达到切断的目的。虽然其在采用飞秒或者皮秒激光的情况下,峰值功率高且单脉冲能量小,在提高了激光能量的利用率的同时减少了激光冲击对加工区域周边的影响,但是其缺点首先是需要进行多次加工,即使分光采用多焦点同时加工,作用于上表面的激光产生的等离子体以及对材料造成的破坏会直接影响到聚焦于材料内部或者下部的加工效果,极难在商业化系统中稳定实现,此外激光冲击对加工区域周边的影响依然存在,使得加工后的工件强度下降,同时切割面粗糙度大,需要较多的机械加工后处理。并且在该专利中仅有方法的叙述,没有对加工结果进行叙述和证明。

[0011] [中国专利公开号 102248302A,超短脉冲激光异形切割钢化玻璃的装置及其方法,狄建科,赵裕兴,潘传鹏,徐海滨],采用振镜和工作台配合,在工作台带动工件运动时,采用振镜使激光焦点在材料上下表面之间按照一定规律往复运动,在加工的基本机理上依然是激光内切割或者激光内雕。这种方法的切割速度慢,且切割面粗糙,激光冲击对切割槽周围的影响依然存在。

发明内容

[0012] 本发明提供一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法及切割装置,可以对透明材料进行无损精密切割,即切割后的工件不会存在热或应力的残留,除切割区域外,材料其他部分的各项特性均不会发生改变。

[0013] 一种利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,通过聚光装置将从超短脉冲激光发生装置输出的超短脉冲激光进行聚光形成聚束激光束,所述聚束激光束从被加工的透明材料的表面入射,所述聚束激光束在材料上引起折射率的变化,激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构,激光沿波导结构向材料内部传输,在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构,直到整个波导结构和激光贯穿透明材料,然后使激光垂直于所述透明材料的表面匀速移动即可在透明材料中形成一个波导平面。

[0014] 如上所述的利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,所述超短脉冲激光是指脉冲宽度为皮秒(10^{-12} s)、飞秒(10^{-15} s)级的激光。

[0015] 如上所述的利用超短脉冲激光的透明材料切割方法,所述被加工的透明材料为玻璃、宝石材料或退火强化玻璃。

[0016] 一种利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,包括:

[0017] 超短脉冲激光发生装置,用于产生超短脉冲激光光束;

[0018] 聚光装置,用于对超短脉冲激光发生装置产生的超短脉冲激光光束进行聚焦形成聚束激光束;

[0019] 所述聚束激光束从被加工的透明材料的表面入射,所述聚束激光束在材料上引起折射率的变化,激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构,激光沿波导结构向材料内部传输,在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构,直到整个波导结构和激光贯穿透明材料;

[0020] 移动工作台,用于放置所述透明材料并可匀速移动使得激光垂直于所述透明材料的表面匀速移动,进而在透明材料中形成一个波导平面。

[0021] 如上所述利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,所述超短脉冲激光是指脉冲宽度为皮秒(10^{-12} s)、飞秒(10^{-15} s)级的激光。

[0022] 如上所述利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,所述被加工的透明材料为玻璃、宝石材料或退火强化玻璃。

[0023] 本发明和砂轮切割相比,速度快、切缝小、无耗材、无粉尘污染。和二氧化碳切割相比,切缝小、切面质量好、切缝无锥度、无热效应影响、无熔渣和飞溅;和传统脉冲固体激光器或紫外激光器切割相比切缝小、切面质量好、切缝无锥度、无热效应影响、无熔渣和飞溅、没有衍生裂纹产生、切割深度更深、且不受切割缝宽深比限制。

附图说明

[0024] 图1为本发明利用超短脉冲激光的透明材料切割方法的原理示意图;

[0025] 图2为本发明利用超短脉冲激光在透明材料中形成多个波导的示意图;

[0026] 图3为本发明利用超短脉冲激光在透明材料中形成的多个波导连成一个平面的示意图;

[0027] 图4为本发明中激光器输出脉冲能量造成透明材料折射率变化的实验结果;

- [0028] 图 5 为本发明利用超短脉冲激光的透明材料切割装置实施例一的结构示意图；
- [0029] 图 6 为本发明利用超短脉冲激光的透明材料切割装置实施例二的部分光路示意图；
- [0030] 图 7 为本发明加工玻璃切割口直线边缘正面的显微镜图片；
- [0031] 图 8 为本发明加工玻璃切割面的显微镜图片；
- [0032] 图 9 为本发明加工玻璃切割口弧线边缘正面的显微镜图片。
- [0033] 图中：1- 聚光装置，2- 聚束激光束，3- 透明材料，4- 波导结构，5- 发散激光，6- 发散性的激光，8- 皮秒激光器，9- 光束匀化器，10- 反射镜，11- 聚焦物镜，12- 透明材料，13- 移动工作台，14- 分光镜，15- 屈光度可调扩束镜，16-1/2 波片，17- 反射镜，18- 偏振分光棱镜，19-1/4 波片。

具体实施方式

[0034] 下面将结合本发明中的附图，对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0035] 图 1 所示为本发明利用超短脉冲激光的透明材料切割方法的原理示意图，从超短脉冲激光发生装置输出的超短脉冲激光的光束经过光束匀化器（图 1 未示出）、聚光装置 1（例如聚光透镜）后形成聚束激光束 2 从被加工的透明材料 3 的表面入射，聚束激光束 2 在材料上引起折射率的变化，即激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构 4，激光沿波导结构 4 向材料内部传输，在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构，直到整个波导结构 4 和激光贯穿透明材料 3，激光在从透明材料 3 的地面穿出后以发散激光 5 输出。然后使激光垂直于所述透明材料 3 的表面匀速移动即可在透明材料 3 中形成一个波导平面 6。所述超短脉冲激光是指脉冲宽度为皮秒（ 10^{-12}s ）、飞秒（ 10^{-15}s ）级的激光。

[0036] 本发明利用高重复频率的超短脉冲激光聚焦照射在透明材料 3 的表面，使激光焦点作用处的材料折射率产生变化，形成和激光方向相同波导结构 4。之后紧邻的激光脉冲在这个波导结构中传输的同时并沿着激光发射方向继续形成波导，这个过程会持续进行，直到形成的波导结构沿激光传输方向贯穿材料。每一条贯穿材料上下表面的波导结构 4 都是多个相邻脉冲连续循环作用的结果。这个波导结构 4 的长度可控，长度范围从几十微米到 3 毫米，可保持和加工材料相同的厚度。而之前所有的激光波导的制作方法，波导长度最大也只有几十微米，不能适用于材料的切割。

[0037] 在造成材料折射率的变化时，与激光接触形成波导结构 4 的材料的晶体特性和应力特性都会产生变化，使激光接触过的材料形成与其他部分材料的巨大应力差异，也就是应力缺陷。在激光的作用下，材料的变化是不可恢复的，也就是在激光作用完成之后会形成固定的激光波导，根据材料的不同，波导的直径在 5-12 微米之间变化。当激光垂直于透明材料表面匀速运动时（如图 2 所示），就产生了一个沿激光传输方向、贯通材料的波导平面 6，亦即应力缺陷面（如图 3 所示）。加工后的材料（例如单晶体材料或者退火强化玻璃）在承受适当外力时，材料只会沿应力缺陷面断裂，断裂面几乎无锥度，粗糙度良好。而在此前所有相关超短脉宽激光制作波导的研究都仅仅关心了加工后材料的光学特性，没有关注过材料的应力或其他特性。

[0038] 在切割过程中，激光不应直接产生对材料直接的熔化、汽化、分解、断裂等作用，必

须限制激光的峰值能量对材料的作用使材料仅仅发生折射率和应力特性的变化。因此本发明对于无损精密切割的准确定义是切割后的工件不会存在热或应力的残留,除切割区域外,材料其他部分的各项特性均不会发生改变。

[0039] 本发明的关键点在于在激光的作用过程中实现连续贯通的波导结构 4,在激光沿波导结构 4 传输的同时能持续产生沿激光发射方向的波导结构 4。这就需要利用超短脉冲激光器(皮秒、飞秒激光器)作用于材料表面的非线性吸收引起的折射率改变的特性,同时应避免激光对材料造成直接的破坏。

[0040] 图 4 是飞秒激光作用下,熔石英玻璃的折射率改变曲线[飞秒激光脉冲诱导透明介质的非线性吸收和折射率改变轮廓研究,程光华、刘青等,光子学报,第 32 卷 11 期]。针对确定的某种超短脉宽激光器,聚焦在材料表面或者内部时,单脉冲能量超过某个数值 E_a ,材料的折射率发生改变,而超过某个数值 E_b ,材料会受到直接的破坏,形成内部微小的破裂点,此时激光无法通过这个点。

[0041] 而如果激光的焦点作用于材料的表面时,激光能量在 E_a 和 E_b 之间,就只会导致材料表面形成一个小的折射率高于周围的圆点,也就是一个细微的直径和激光焦点相近波导结构,而激光顺着这个波导结构进入材料内部时,由于激光受到波导的限制,在进入材料内部时被波导所约束,光束直径会始终和这个波导结构直径相同,这样在材料内部会继续形成随激光指向的波导结构,而激光顺着波导结构延伸的同时,也在继续延伸这个波导结构。如果不考虑激光在波导中传输的损耗等因素,这个过程可以一直在材料中延续下去。为了实现这一效果,激光在进入材料表面时候单脉冲能量不能大于 E_a ,但在传输过程中,单脉冲能量损耗到小于 E_b 时,这个过程也就结束,波导结构的长度也就到此为止。

[0042] 如上所述,为了实现这一效果,必须采用的是超短脉冲激光。超短脉冲的单脉冲能量必须受到限制小于 E_a ,这个能量只能形成一小段波导,让这个过程持续,就需要多个稳定的脉冲,持续的沿着激光照射点顺着波导结构进入材料内部。同时要避免材料受到多个脉冲连续照射形成的热或者其他效果的积累产生的破坏。

[0043] 例如,对于一块厚度在 2mm 的熔石英玻璃,采用 100 飞秒脉宽的激光器,形成一个贯通的波导结构需要 200-500 个脉冲。在材料或者激光匀速运动的情况下,波导结构可以连成一个波导平面,运动速度过慢可能会造成激光过多作用在材料上导致材料被破坏,运动速度过快,可能导致波导之间的间距过大,无法形成连续的面,甚至来不及形成完整的贯通的波导。

[0044] 这个波导平面在折射率改变的同时,强度也发生了变化,从而形成和周围材料截然不同的强度特性,并且和相邻材料之间没有渐变。在材料承受外力时,材料会从这个面断裂开。

[0045] 而对于每一种不同的激光器,本发明涉及到激光参数包括激光输出平均功率、峰值功率光束模式、激光脉冲宽度、种子源频率、激光器内部调制频率、激光外部光开关调制频率。为了达到本发明所要求的应用效果,需要对激光输出模式进行调整,对激光输出脉冲进行调制。而每个激光器的不同参数都会影响上文所说的 E_a 和 E_b 的大小,以及单脉冲能量和材料折射率变化程度的能量关系。重要的是要保证输出的单脉冲能量在 E_a 和 E_b 之间,同时脉冲串内脉冲间隔时间要保证能产生使折射率变化而使得波导结构能够持续形成但是不至于造成热和力的积累破坏材料。材料和激光焦点之间的相对运动速度也要足以使脉

冲串和脉冲串之间有足够的空间间隔,避免由于在近距离激光效应积累造成的材料破坏。

[0046] 本发明和此前所有该领域内机械和激光等切割方法的最大不同就是在切割过程中不对材料进行破坏,而仅仅改变材料被加工部分的原有特性,利用晶体或者玻璃材料应力均匀特点,人为制造应力缺陷面,产生自然断裂。

[0047] 本发明还提供一种利用超短脉冲激光的透明材料切割装置,包括:

[0048] 超短脉冲激光发生装置,用于产生超短脉冲激光光束;

[0049] 聚光装置,用于对超短脉冲激光发生装置产生的超短脉冲激光光束进行聚焦形成聚束激光束;所述聚束激光束从被加工的透明材料的表面入射,所述聚束激光束在材料上引起折射率的变化,激光作用点中心折射率上升形成沿激光发射方向的波导结构,激光沿波导结构向材料内部传输,在传输过程中同时持续产生沿激光发射方向的波导结构,直到整个波导结构和激光贯穿透明材料;

[0050] 移动工作台,用于放置所述透明材料并可匀速移动使得激光垂直于所述透明材料的表面匀速移动,进而在透明材料中形成一个波导平面。

[0051] 下面以两个具体实施例进行说明:

[0052] 实施例一

[0053] 请参考图 5,本实施例采用高重复频率的皮秒激光器超短脉冲激光发生装置-皮秒激光器 8,在本实施例中,可采用两种不同的皮秒激光器,一种是重复频率 F_{con} 为 15 兆赫兹,最大平均输出功率为 100W,单脉冲宽度 12ps 的皮秒激光器,采用外部电光开关对脉冲进行调制,调制频率 F_{rep} 为 1 赫兹到 1 兆赫兹。调制脉宽 W_t 可控制在 20 纳秒到 2 微秒之间,使得每个触发信号可输出 1-12 个激光脉冲。另一种是种子源输出频率 F_{seed} 而 50 兆赫兹,带有激光腔内和腔外两个高频电光开关进行调制,可输出平均功率 P_o 为 50W,重复频率 F_{rep} 400 千赫兹到 1 兆赫兹,脉宽 8ps 的激光,每个触发信号脉冲可输出 1-10 个皮秒激光脉冲,脉冲串内包含的脉冲个数成为 M_p 。对于不同的激光器,脉冲串内脉冲个数 M_p ,脉冲串调制频率 F_{rep} 和工件运动速度 V_m 有不同的线性关系参数。而激光单脉冲能量 E_{sp} 必须在前文所说的 E_a 和 E_b 之间,针对此两种皮秒激光器, E_a 为 0.2 微焦, E_b 为 20 微焦。单脉冲能量 $E_{sp} = P_o / (F_{rep} \times M_p)$ 。

[0054] 在传输光路中采用光束匀化器 9 对激光模式进行调整,光束匀化器 9 由一组镜片组成,作用是将光束分解重新排列,使原有的高斯光束转化为近于平顶的准均匀光束,使得在焦点处能量密度分布较为平均,不会在焦点中心直接超出材料的破坏阈值。激光通过反射镜 10 和聚焦物镜 11 输出。聚焦的 N.A. 值可以在 0.3-0.7 之间,但是在 0.4-0.6 之间会有比较好的效果。同时采用单片或者双片气隙球面镜,利用球差本身形成的激光光轴的空间线性聚焦。

[0055] 利用聚焦物镜 11 的瑞利长度和球差,形成长度和 $1/e$ 直径可控的沿激光发射方向的长焦点,使激光能量在纵向分散,同时由于小的 N.A. 数值使得激光焦点直径小于 15 微米,并控制焦点中心在透明材料 12 内部的深度。超短脉宽激光会在材料的内部生成沿激光方向的折射率增大区域从而形成微小的波导结构,而激光聚焦于这一区域后会沿着波导结构继续向材料内部传输,且被约束于这个波导结构内不会发散,这个波导结构的直径 D_w 小于 10 微米。

[0056] 通过高速光开关的外调制或者激光器本身的调制,发射连续的脉冲串,脉冲串内

部脉冲之间的时间间隔 T_p 在 10 纳秒到 100 纳秒之间,脉冲串之间时间间隔 T_d 为 5 微秒到 1 微秒之间。脉冲串的作用在于使单个激光对材料形成的性质变化产生累积效应,脉冲串内的脉冲会从激光焦点附近耦合进入之前脉冲形成的波导结构中,而被波导结构约束不能发散,在之前形成的波导结构底部继续之前脉冲形成波导的过程,连续的脉冲串使波导结构顺着激光发射方向连续生成,直到贯通材料。

[0057] 采用可高速移动的移动工作台 13,工作台速度 V_m 在 200mm/s 到 1000mm/s 之间。保证相邻脉冲串在材料的作用点间距大于 $k \cdot D_w$,其中系数 k 和材料特性相关,绝大部分材料 k 不大于 0.2, D_w 为波导结构的直径,过低的运动速度会导致激光对材料效应的积累导致材料直接的破坏。

[0058] 实施例二

[0059] 基本结构与实施例一类似,其区别在于在激光传输光路中,将激光通过分光镜 14 分成两束 A 和 B, A 光束所占激光输出功率 15-40% 之间, A 和 B 光束分别采用屈光度可调扩束镜 15 扩束,然后在 A 光束路径上增加 1/2 波片 16 将激光偏振方向偏转 90 度之后通过偏振分光棱镜 18 将 A 和 B 光束合为一束,然后采用 1/4 波片 19 将激光线偏振转换为圆偏。

[0060] 本实施例的聚焦装置采用长工作距离物镜进行聚焦,对 A 和 B 光束路径中的屈光度可调扩束镜进行调节,这样 A 和 B 光束的聚焦点将分别在不同的高度。分别利用光闸关断 A 和 B 光束,然后对两个光束的焦点位置进行测定。调节屈光度可调扩束镜 15,使 A 和 B 光束焦点位于设定位置并测定间距。

[0061] 调节长工作距离物镜高度,使 A 光束焦点位于工件上表面或略低于工件上表面, B 光束焦点低于工件小表面。在激光发射过程中, A 光束焦点对工件的照射形成折射率的变化,诱导 B 光束中心部分沿 A 光束形成的波导结构向下传输,通过连续的脉冲串的作用,形成连续的波导结构,直到贯通整个工件。

[0062] 在目前已经完成的实验表明,脉宽小于 20 皮秒的超短激光器在特定的条件下都能产生材料非线性吸收效应,但是容易被材料吸收的波长,对材料的直接破坏会大于非线性吸收效果,容易直接造成材料的破坏。目前一般全固态皮秒激光器的输出波长大致上可分为基频 1064(1060 等) 纳米,二倍频 532(530 等) 纳米,三倍频 355(351 等) 纳米,四倍频 266 纳米。以上波长中,只有基频 1064(1060 等) 纳米波长激光适合这一应用。此外,采用波长 780 纳米或者 800 纳米左右的飞秒激光器也能够用于这一应用。

[0063] 而目前大部分超短脉宽激光器,包括皮秒、飞秒甚至阿秒激光器大部分都还不能进行大规模商业化应用。所以本发明实验最后选择的是目前已经成熟稳定能够进行商业化应用的皮秒激光器。但是其他超短脉冲激光器能够投入商业化应用的条件下,也可以根据本文所描述的方法实施此项应用。

[0064] 本发明的优点在于切割过程中不产生对材料的热或者化学性质的伤害。在切割后用显微镜从材料的正面观察,可看到明显的光学特性变化区域,宽度为 3 微米(如图 7 和图 9 所示)。表面和内部没有明显的切割槽存在。变化区域表面光滑,无任何切割槽或者裂缝可以被检测到。

[0065] 在从变化区域断裂之后,断裂面平整,粗糙度为 2 微米,边缘无毛刺或者锯齿现象,边缘直线度同样在 2 微米左右,断裂面两侧无衍生裂纹(如图 8 所示)。

[0066] 利用超短脉宽激光器的高峰值功率在材料内产生的非线性吸收效应,在对激光能

量进行空间和时间上的受控合理分布,使作用于材料内部的激光能量只改变材料的部分晶体和光学特性,不直接破坏材料,同时利用非线性吸收效应对材料折射率的改变形成激光波导结构和高重复频率脉冲串的累积效应使得波导结构持续生成以至贯通材料,高速运动工件材料使得不断形成线性波导形成应力缺陷面。所以不会有其他的裂纹或者应力缺陷产生。在加工过程中没有材料的汽化、分解、断裂,没有污染产生。

[0067] 本发明和其他所有激光切割玻璃、蓝宝石、半导体基板、衬底等发明相比的不同就是在切割过程中不会直接破坏材料,不会气化、分解、冲击断裂材料,只是利用材料在超短脉冲激光的作用下,改变部分的光学和晶体特性,使得在材料中出现位置、形状、尺寸可控制的,强度减弱的区域。

[0068] 本发明和砂轮切割相比,速度快、切缝小、无耗材、无粉尘污染。和二氧化碳切割相比,切缝小、切面质量好、切缝无锥度、无热效应影响、无熔渣和飞溅;和传统脉冲固体激光器或紫外激光器切割相比切缝小、切面质量好、切缝无锥度、无热效应影响、无熔渣和飞溅、没有衍生裂纹产生、切割深度更深、且不受切割缝宽深比限制。

[0069] 本文可对透明无机材料如玻璃、宝石材料进行精密无损切割加工,尤其适用于贵重透明材料如宝石和退火强化玻璃的切割。

[0070] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何属于本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

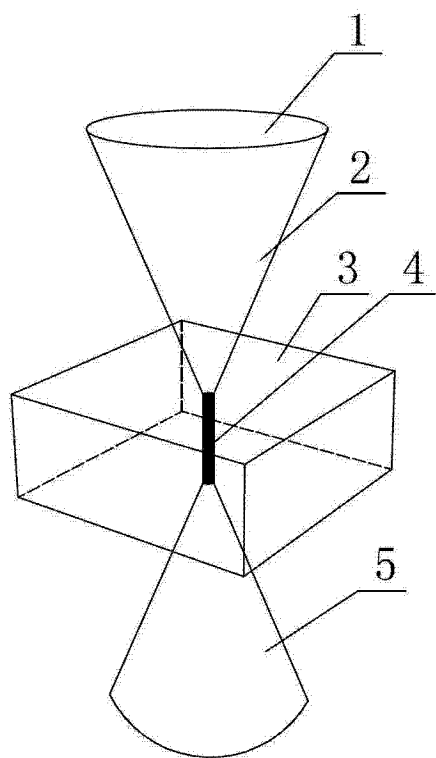


图 1

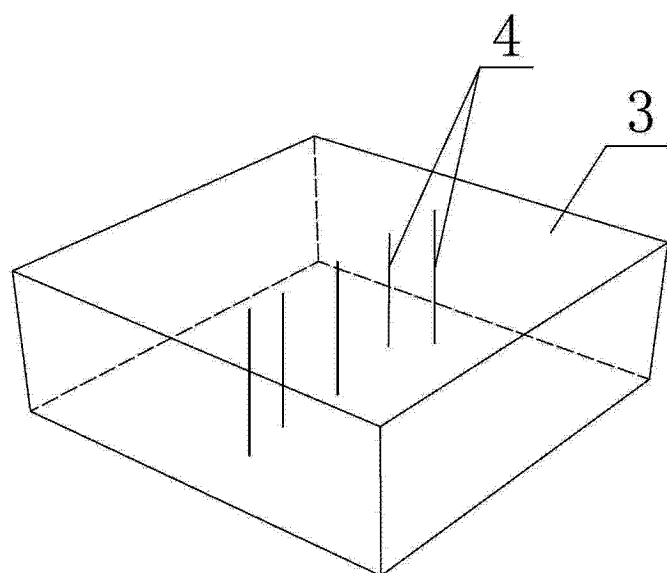


图 2

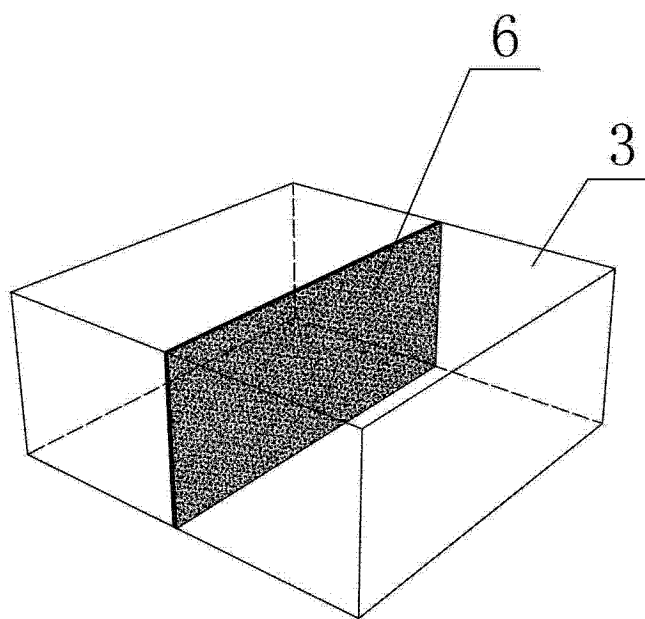


图 3

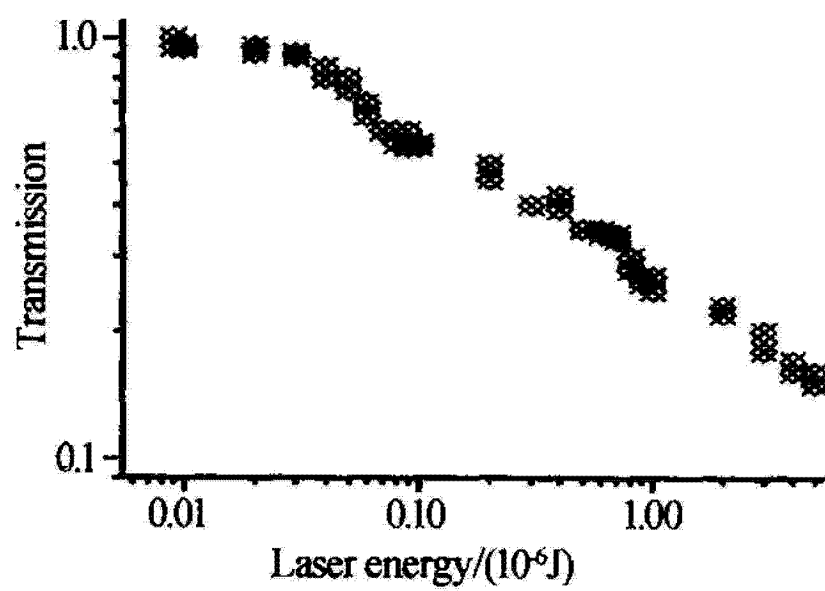


图 4

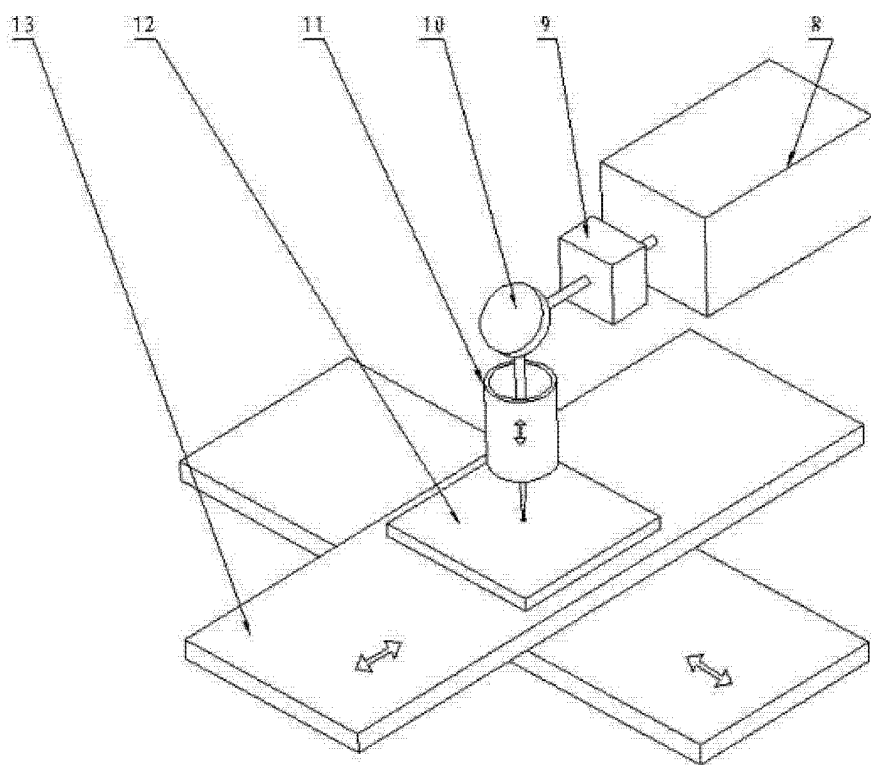


图 5

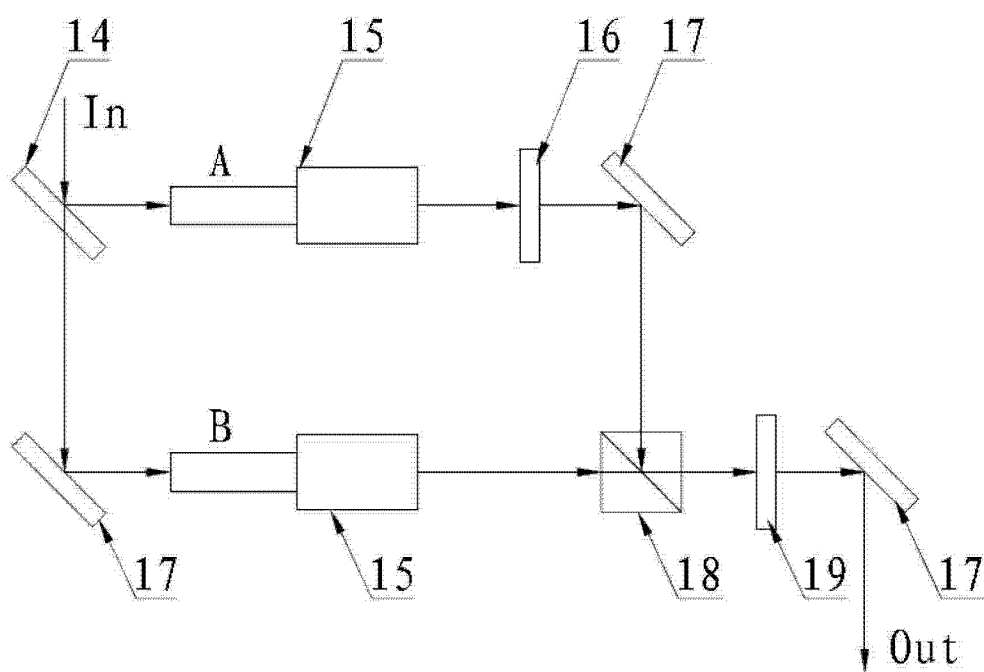


图 6



图 7

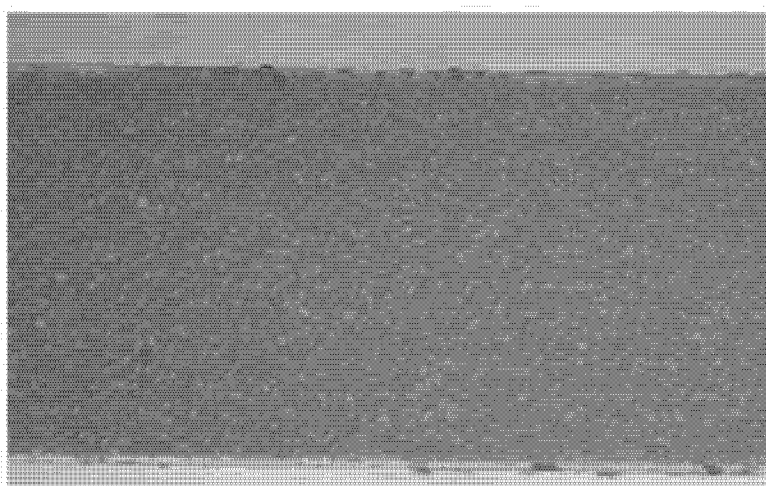


图 8

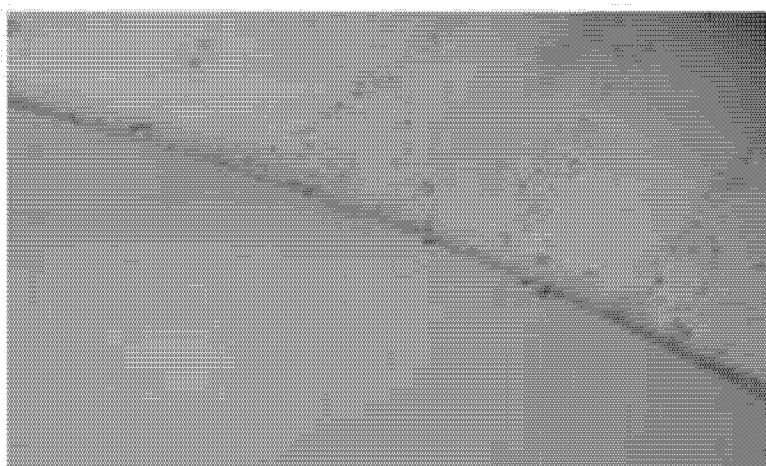


图 9