



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104671819 B

(45)授权公告日 2016.08.31

(21)申请号 201510077013.3

CN 101767261 A, 2010.07.07, 说明书第 0018-0047段.

(22)申请日 2015.02.12

CN 102140036 A, 2011.08.03, 说明书第 0007-0008段.

(73)专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037号

CN 103057117 A, 2013.04.24, 说明书第 0005-0006段.

(72)发明人 秦应雄 罗博伟 郑小娟 许成文 唐霞辉 姜胜林

CN 104018156 A, 2014.09.03, 说明书第 0010-0024段.

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心 42201

审查员 白姝琼

代理人 廖盈春

(51)Int.Cl.

C04B 37/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 101733553 A, 2010.06.16, 说明书第 0004段-0006段.

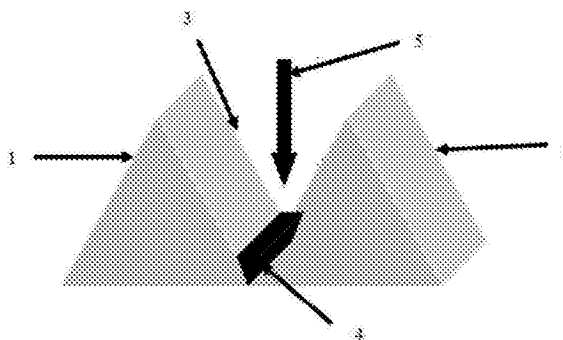
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种陶瓷的激光连接方法

(57)摘要

本发明公开了一种陶瓷的激光连接方法,具体如下:在待连接的两个陶瓷工件的连接处留“V”形或梯形的缝隙;在缝隙处按层铺设与被连接陶瓷工件性能相同或相近的陶瓷焊料如陶瓷薄膜、陶瓷薄片或陶瓷粉末;每铺完一层陶瓷焊料后,用连续激光扫描预热陶瓷焊料,进行连接区表面预处理;然后使用超短脉冲激光扫描,使得陶瓷焊料与被连接的两个陶瓷工件形成连接;依次铺设陶瓷焊料和进行激光扫描,如此重复直至将整个缝隙连接完全。本发明使用超短脉冲激光照射在薄层陶瓷焊料上,激光作用时间短,熔池厚度薄,以较低的局部热注入实现陶瓷的连接,大大降低热应力与热裂纹,在陶瓷工件的连接强度和工艺可靠性方面有很大程度的提高。



1. 一种陶瓷的激光连接方法,其特征在于,所述连接方法具体包括以下步骤:

(1)将两块待连接陶瓷工件水平对准,两工件的连接面之间呈“V”型,连接面的夹角在 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ 范围;

(2)在两块待连接陶瓷工件连接面之间的“V”型缝隙里铺设一层陶瓷焊料;

(3)使用连续激光对两块待连接陶瓷工件的连接面进行预处理,包括对连接面的预热和清洁;并扫描陶瓷焊料,对其进行预热;

(4)在连续激光对连接面的扫描行程达到1/2时加入作用时间极短的超短脉冲激光,采用连续激光和超短脉冲激光双光束同时快速扫描连接区域;所述连接区域包括待陶瓷焊料和待连接陶瓷工件的连接面;

(5)当一层陶瓷焊料与待连接陶瓷工件连接完整后,重复步骤(2)~(4):由底至顶逐层铺设陶瓷焊料并进行双光束激光扫描,如此重复直至两块待连接陶瓷工件间的缝隙完全填充,两待连接陶瓷工件完全连接。

2. 如权利要求1所述的激光连接方法,其特征在于,步骤(1)之前,预处理待连接陶瓷工件的连接面:切割待连接陶瓷工件的连接面,使连接面的倾斜度在 $5^{\circ}$ 到 $25^{\circ}$ 之间,使得两待连接陶瓷工件间的连接面夹角在 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ 。

3. 如权利要求1或2所述的激光连接方法,其特征在于,在步骤(1)中,将两块待连接陶瓷工件水平对准,使两工件的底边紧贴固定,缩小两连接面间的“V”缝隙。

4. 如权利要求1或2所述的连接方法,其特征在于,陶瓷焊料铺设厚度不大于0.1mm。

5. 如权利要求1所述的连接方法,其特征在于,陶瓷焊料采用含有 $\text{SiO}_2$ 粉末的复合陶瓷薄膜、陶瓷薄片或陶瓷粉末。

6. 如权利要求1或2所述的连接方法,其特征在于,对于 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷工件,选择含 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{MgO}$ 的复合陶瓷焊料。

7. 如权利要求1或2或5所述的连接方法,其特征在于,所述步骤(3)采用 $\text{CO}_2$ 连续激光器对连接面进行预处理并对陶瓷焊料进行预热,激光功率为200W—300W,扫描速度0.8—1.5mm/s。

8. 如权利要求1或2或5所述的连接方法,其特征在于,步骤(4)中采用多次跳跃填充的扫描方法沿陶瓷焊料面水平方向的中心线扫描,对同一照射位置采用多脉冲照射方式;采用多次跳跃扫描用于缓解热量的过于集中,避免待连接陶瓷工件过烧。

9. 如权利要求1或2或5所述的连接方法,其特征在于,步骤(4)中采用连续扫描方法沿陶瓷焊料面水平方向的中心线扫描。

10. 如权利要求1所述的连接方法,其特征在于,步骤(4)中采用的超短脉冲激光的激光功率为200—400W,扫描速度为0.8—1.5mm/s,光斑大小为1mm\*1mm—4mm\*4mm,光斑形状为马鞍形。

## 一种陶瓷的激光连接方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于陶瓷连接技术领域,更具体地,涉及一种陶瓷的激光连接方法。

### 背景技术

[0002] 随着科学技术的发展,陶瓷的组成、性能、制造工艺和应用领域已发生了根本性的变化,从传统的生活用陶瓷发展成为具有特殊性能的功能陶瓷和高性能的工程陶瓷;同时由于其独特的高温性能、耐磨和耐腐蚀等性能而使其成为发展陶瓷发动机、磁流体发电及核反应装置等高科技产品的重要材料,但由于其严重的脆性而使其无法做成复杂的和承受冲击载荷的零件。因此,必须采取连接技术来制造复杂的陶瓷件。

[0003] 钎焊和固相扩散焊较适合于陶瓷的连接,并且得到了应用。钎焊陶瓷方法主要用于电子管的封接,它的缺点是工艺相当复杂,受润湿性的限制很大。固相扩散焊要求整个连接界面必须保持紧密接触,因此对界面的加工精度要求很高,不适宜于大面积和复杂界面的连接。此外,在陶瓷的固相连接方法中除了扩散焊外还有摩擦焊和微波焊等,但这些方法都不成熟,且存在很多缺点,例如摩擦焊是在瞬时内施加很大的压力通过大变形量来达到结合的目的,而硬脆的陶瓷材料在瞬时内受到大压力则极易碎。

[0004] 目前,陶瓷激光连接采用的是在两块陶瓷工件之间添加焊料条,采用二氧化碳激光器沿着焊料条逐渐扫描,进行激光连接,由于连接过程中需要用夹具固定两块陶瓷工件以及两工件之间的陶瓷焊料,因此给为陶瓷工件以及陶瓷焊料进行预热的装置安装带来了困难,不方便预热。由于激光功率较高且光束扫描速度较慢,导致连接处温度较高,而陶瓷散热性能较差,因此二氧化碳激光直接连接有以下弊端:焊料与工件连接处温度过高,陶瓷工件的连接面与非连接面之间有很大的温度梯度,由此产生了较大的热应力,易导致陶瓷工件炸裂;另外,由于焊料条有一定的厚度,光束以一定的速率和功率逐渐扫描焊料条很难使得焊料条在短时间内均匀融化并与陶瓷工件作用,因此很难提高连接强度。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种陶瓷的激光连接方法,其目的在于在短时间内采用连续激光束与超短脉冲激光束双光束扫描陶瓷工件连接区域,由此解决陶瓷工件在连接过程中易热炸裂的问题。

[0006] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种陶瓷的激光连接方法,具体包括以下步骤:

[0007] (1)将两块待连接陶瓷工件水平对准,两工件的连接面之间呈“V”型,连接面的夹角在 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ 范围;

[0008] (2)在两块待连接陶瓷工件连接面之间的“V”型缝隙里铺设一层陶瓷焊料;

[0009] (3)使用连续激光对两块待连接陶瓷工件的连接面进行预处理,包括对连接面的预热和清洁;并扫描陶瓷焊料,对其进行预热;

[0010] (4)在连续激光对连接面的扫描行程达到 $1/2$ 时加入作用时间极短的超短脉冲激

光,采用连续激光和超短脉冲激光双光束同时扫描连接区域至陶瓷焊料与待连接陶瓷工件连接完整;所述连接区域包括待连接陶瓷工件的连接面和陶瓷焊料;其中连续激光的扫描为连接区域保温,使得连接区域在连接过程中的温差尽可能的小;超短脉冲激光作用于连接面的时间极短,热影响区小,降低了陶瓷工件在连接过程中的热炸裂风险;

[0011] (5)当一层陶瓷焊料与待连接陶瓷工件连接完整后,立即重复步骤(2)~(4):由底至顶逐层铺设陶瓷焊料并进行双光束激光扫描,如此重复直至两块待连接陶瓷工件间的缝隙完全填充,两待连接陶瓷工件完全连接。

[0012] 优选地,步骤(1)之前,预处理待连接陶瓷工件的连接面:切割待连接陶瓷工件的连接面,使连接面的倾斜度在 $5^{\circ}$ 到 $25^{\circ}$ 之间,保证两待连接陶瓷工件间的连接面夹角在 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ ;将陶瓷工件间的夹角设置在 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ 范围,便于操作并且避免者激光过多的照射在陶瓷工件上导致的陶瓷工件炸裂。

[0013] 优选的,步骤(1)中,两块待连接陶瓷工件水平对准,两工件的底边紧贴固定,使得两连接面间的“V”缝隙尽可能的小,以节省陶瓷焊料并缩短激光扫描时间,进一步降低陶瓷工件在连接加工过程中的热炸裂风险。

[0014] 优选的,陶瓷焊料铺设厚度不大于 $0.1\text{mm}$ ,使得陶瓷焊料在尽可能短的时间内被脉冲激光熔透。

[0015] 优选的,陶瓷焊料选择陶瓷薄膜、陶瓷薄片或陶瓷粉末,采用薄膜状、薄片状或粉末状的陶瓷焊料能与陶瓷工件连接面更好的吻合,以提高连接质量;陶瓷焊料的材料选择性能与待连接陶瓷工件材料相同或相近的陶瓷焊料,可进一步提高陶瓷工件与陶瓷焊料的连接强度。

[0016] 优选的,陶瓷焊料采用 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 或者 $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 等含有 $\text{SiO}_2$ 粉末的复合陶瓷薄膜、陶瓷薄片或陶瓷粉末;金属粘合剂 $\text{ZnO}$ 和玻璃粘合剂 $\text{SiO}_2$ 使得焊料与陶瓷工件的结合区具有更高的抗拉伸和抗剪切强度。

[0017] 优选的,对于 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷工件,选择含 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{MgO}$ 的复合陶瓷焊料。

[0018] 优选的,步骤(3)采用 $\text{CO}_2$ 连续激光器进行连接区表面预处理,激光功率为 $200\text{W}$ — $300\text{W}$ ,扫描速度 $0.8$ — $1.5\text{mm/s}$ 。

[0019] 优选的,步骤(4)中采用多次跳跃填充的扫描方法沿陶瓷焊料面水平方向的中心线扫描,对同一照射位置采用多脉冲照射方式;采用多次跳跃扫描用于缓解热量的过于集中,避免待连接陶瓷工件过烧。

[0020] 优选的,步骤(4)中采用连续扫描方法沿陶瓷焊料面水平方向的中心线扫描,对同一照射位置采用单脉冲照射方式。

[0021] 优选的,超短脉冲激光采用纳秒、皮秒或飞秒激光器产生,根据待连接陶瓷工件的连接面面积选取。

[0022] 优选的,步骤(4)中采用的超短脉冲激光的激光功率为 $200$ — $400\text{W}$ ,扫描速度为 $0.8$ — $1.5\text{mm/s}$ ,光斑大小为 $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ — $4\text{mm}\times 4\text{mm}$ ,光斑形状为马鞍形或接近马鞍形,光束中心能量密度小,外围能量密度大,可中和热量向陶瓷焊料上光斑中心的集中,使得光斑照射区域达到热量的均衡改善陶瓷工件的连接质量和强度;激光功率、扫描速度和光斑大小等参数满足铺设层完全熔透,并且上表面不过烧,下表面与已固化的陶瓷焊料、焊料两端与待连接的两个陶瓷工件的连接面之间能够形成致密陶瓷相连接。

[0023] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0024] (1)本发明提供的陶瓷激光连接方法,将两陶瓷工件的连接面间的“V”型缝隙的角度控制在 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ ;避免角度过小时超短脉冲激光器的激光头无法进入连接区或者激光过多的照射在陶瓷工件上从而导致了连接质量下降以及陶瓷工件的炸裂;还避免角度过大时陶瓷焊料和陶瓷工件的结合区域过大导致连接强度的降低;

[0025] (2)本发明提供的陶瓷激光连接方法与现有技术不同的是在连接过程中采用了陶瓷焊料,陶瓷焊料可以选择陶瓷薄膜、陶瓷薄片或陶瓷粉末,陶瓷焊料在较短时间熔透并与陶瓷工件结合;起到避免陶瓷工件连接面与非连接面之间过大的温度梯度而引起的陶瓷工件炸裂的效果;

[0026] (3)本发明提供的陶瓷激光连接方法中,采用的陶瓷焊料的铺设厚度在 $0.1\text{mm}$ 以内,使得陶瓷焊料在尽可能短的时间内被脉冲激光熔透,进而缩小陶瓷工件连接面与非连接面之间的温度梯度,避免陶瓷工件在连接过程炸裂;

[0027] (4)本发明提供的陶瓷激光连接方法采用的连续激光器除了为陶瓷焊料预热外,还为与陶瓷焊料结合的陶瓷工件连接面区域进行表面处理,清洁结合区域,减少连接区域的杂质,对于改善待连接陶瓷工件的结合强度、减少结合区气孔起到了很好的促进作用;

[0028] (5)本发明提供的陶瓷激光连接方法,采用连续激光和超短脉冲激光双光束扫描,其中的连续激光扫描用于为连接区域保温,使得连接区域在连接过程中的温差尽可能的小;而超短脉冲激光作为连接用的激光,与连续激光连接相比,超短脉冲激光作用时间短,所需激光功率低,热影响区小,待连接陶瓷工件受热小,并且连接完成之后的结合体散热慢,结合处温度高且与下一层陶瓷焊料以及陶瓷工件之间的温度梯度小,在很大程度上避免了陶瓷工件的热炸裂;

[0029] (6)本发明提供的陶瓷激光连接方法的优选方案里,采用的超短脉冲的光斑为马鞍形,马鞍形光斑与传统的矩形或圆形以及椭圆形光斑相比具有明显优势,传统光斑照射在陶瓷焊料上时,光斑中心区域获得的热量会更加集中,周围获得的热量往外递减;而采用马鞍形,光束中心能量密度小,越往外能量密度越大,可中和热量向陶瓷焊料上光斑中心的集中,使得光斑照射区域能够达到热量的均衡,能改善陶瓷工件的连接质量和强度;

[0030] (7)本发明提供的陶瓷激光连接方法的优选方案里,陶瓷焊料采用 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 或者 $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 等含有 $\text{SiO}_2$ 粉末的复合陶瓷薄膜、陶瓷薄片或陶瓷粉末,与普通的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷焊料相比增加了金属粘合剂 $\text{ZnO}$ 和玻璃粘合剂 $\text{SiO}_2$ ,使得焊料与陶瓷工件的结合区具有更高的抗拉伸和抗剪切强度。

## 附图说明

[0031] 图1是本发明提供的陶瓷的激光连接方法示意图;

[0032] 图2是本发明采用的双光束激光示意图;

[0033] 图3是本发明提供的陶瓷的激光连接方法中超短脉冲跳跃扫描的路径;

[0034] 图4是本发明采用的马鞍形超短脉冲光斑形状;

[0035] 图5是本发明提供的陶瓷的激光连接方法中陶瓷焊料堆叠连接效果;

[0036] 在所有附图中,相同的附图标记用来表示相同的元件或结构,其中:1-第一待连接

陶瓷工件,2-第二待连接陶瓷工件,3-工件连接处的缝隙,4-陶瓷焊料,5-连续激光,6-超短脉冲激光。

### 具体实施方式

[0037] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0038] 在本发明的实施例中,采用本发明提供的激光连接方法对两块待连接的 $Al_2O_3$ 陶瓷工件进行连接,具体如下:

[0039] (1)切割待连接陶瓷工件的连接面,坡口切割的倾斜度在 $5^\circ$ 到 $25^\circ$ ,使得两块待连接 $Al_2O_3$ 陶瓷工件间的“V”形缝隙3开口在 $15^\circ$ 到 $45^\circ$ ;利用夹具将待连接 $Al_2O_3$ 陶瓷工件1和待连接 $Al_2O_3$ 陶瓷工件2水平对准挤压固定好,两块 $Al_2O_3$ 陶瓷工件固定好后如图1所示;

[0040] (2)用喷粉管在“V”形缝隙3铺上一层厚度不大于0.1mm的含有 $SiO_2$ 粉末的 $Al_2O_3$ 陶瓷粉末4;

[0041] (3)利用 $CO_2$ 连续激光器5进行连接区表面预处理以减少连接区域的杂质和结合区气孔;包括对连接面的预热和清洁;以及扫描陶瓷焊料对其进行预热;连续激光的功率为200W—300W,扫描速度0.8mm/s—1.5mm/s;

[0042] (4)当 $CO_2$ 连续激光器对陶瓷焊料的扫描行程达到1/2,加入纳秒超短脉冲激光器6;利用 $CO_2$ 连续激光器和纳秒超短脉冲激光器6快速扫描连接区域,扫描驱动采用ABB焊接机器人,沿陶瓷焊料面的中心线采用多次跳跃填充扫描方法,跳跃落点如图3中黑色方块所示;采用多次跳跃扫描的方法可缓解热量过于集中,避免 $Al_2O_3$ 陶瓷工件1和2过烧;扫描速度为0.8mm/s—1.5mm/s;激光功率为200W—400W,光斑大小为1mm\*1mm—4mm\*4mm;光斑形状如图4所示,为马鞍形或接近马鞍形,光斑中心能量低于周围能量,以中和热量向陶瓷焊料上光斑中心集中,使得光斑照射区域热量达到均衡,以提高陶瓷工件的连接质量和强度;

[0043] (5)待先行铺设的一层含有 $SiO_2$ 粉末的 $Al_2O_3$ 焊料4与 $Al_2O_3$ 陶瓷工件1和2连接完整后,立即重复以上步骤(2)~(4),直至两待连接陶瓷工件间的缝隙完全填充,两待连接陶瓷工件完全连接;连接过程中陶瓷焊料逐层堆叠连接的效果如图5所示。

[0044] 在本发明的实时例中,铺设的陶瓷焊料4还可以是一层厚度不大于0.1mm的含有 $SiO_2$ 粉末的 $Al_2O_3$ 陶瓷薄膜或陶瓷薄片。

[0045] 在本发明的实施例中,超短脉冲激光6还可以采用皮秒激光器或飞秒激光器产生。

[0046] 在实施例中采用的陶瓷焊料为厚度不大于0.1mm的含有 $SiO_2$ 的 $Al_2O_3$ 陶瓷焊料,其中 $SiO_2$ 材料的应用使得焊料与陶瓷工件的结合区具有更高的抗拉伸和抗剪切强度;单层陶瓷焊料的厚度极薄,在极短的时间内即可熔透,进一步降低连接区域与非连接区域的温度梯度,降低陶瓷工件在连接过程热炸裂的风险。

[0047] 更为关键的,在实施例中采用连续激光对连接区域进行预处理后采用连续激光和超短脉冲激光双光束扫描;其中连续激光的扫描为连接区域保温,使得连接区域在连接过程中的温差尽可能的小;其中短脉冲激光束的作用时间极短,所需激光功率低,热影响区

小,待连接陶瓷工件受热小,并且连接完成之后的结合体散热慢,接合处温度高且接合处与下一层陶瓷焊料以及陶瓷工件之间的温度梯度小,进一步的避免了陶瓷工件在连接过程中的热炸裂。

[0048] 总体而言,本发明从对待连接工件的预处理、陶瓷焊料的选择、激光类型的选择和操作步骤的处理等多个方面考虑,提供了一种解决陶瓷工件在连接过程中易热炸裂的问题的激光连接方法。

[0049] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

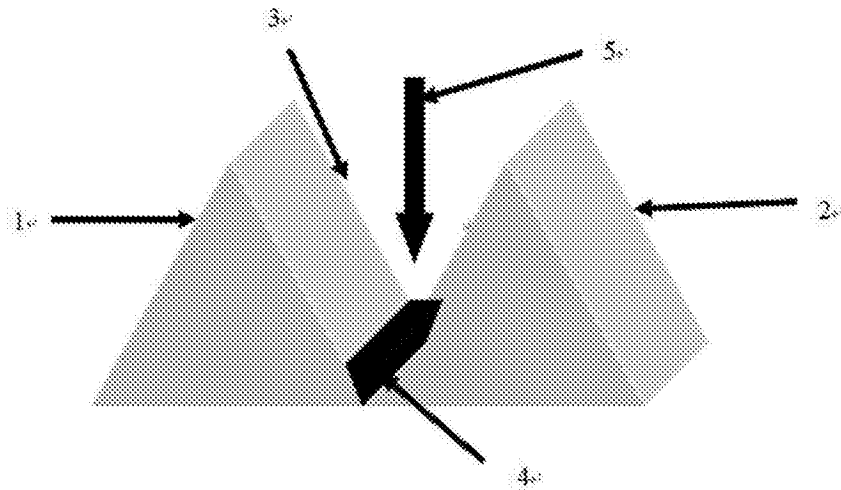


图1

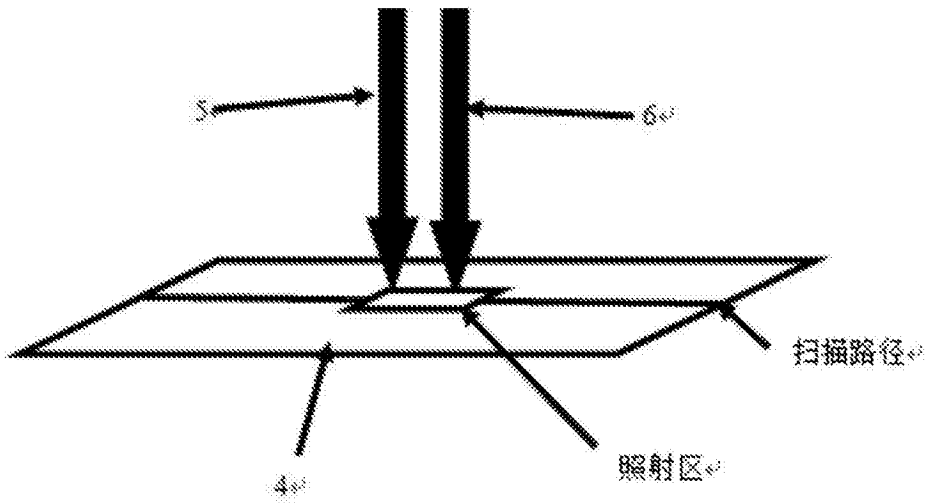


图2

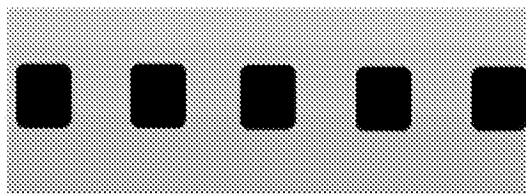


图3

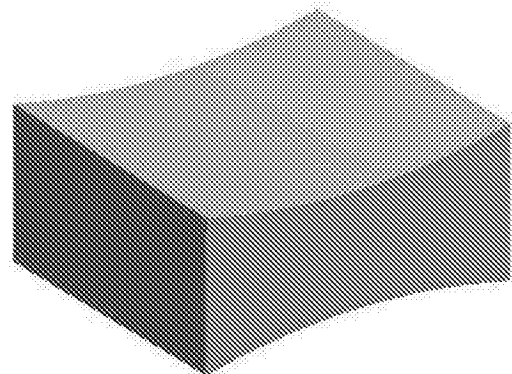


图4



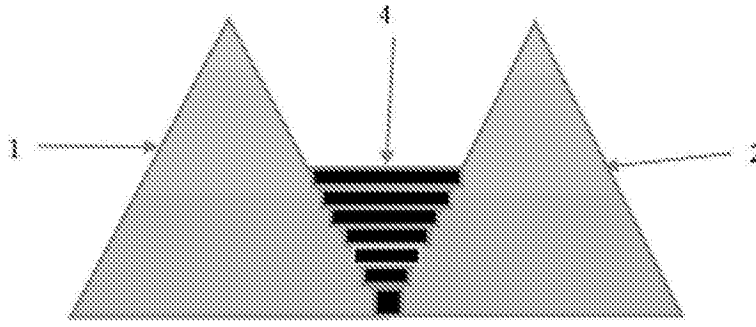


图5