



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110202266 A

(43)申请公布日 2019.09.06

(21)申请号 201910400836.3

(22)申请日 2019.05.14

(71)申请人 中国电子科技集团公司第三十八研究所

地址 230000 安徽省合肥市高新技术开发区香樟大道199号

(72)发明人 姜海涛 崔健磊 孙大智 豆剑  
殷东平 梅雪松 王文君

(74)专利代理机构 合肥昊晟德专利代理事务所  
(普通合伙) 34153

代理人 王林

(51)Int.Cl.

B23K 26/362(2014.01)

B23K 26/364(2014.01)

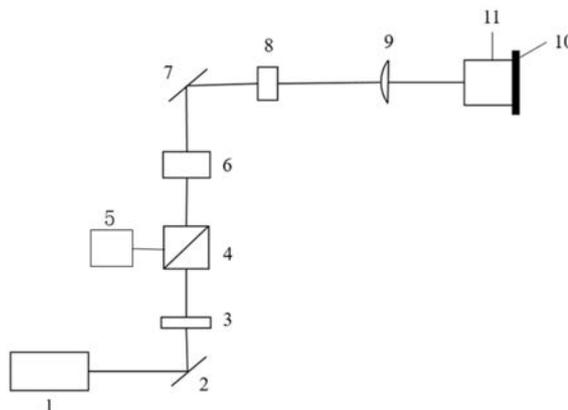
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法

(57)摘要

本发明公开一种飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,包括步骤,对金刚石表面进行清洗;搭建光路;设置飞秒激光器的输出激光的激光参数;将所述金刚石固定在移动载物台的加工工位上;调节所述光路中的飞秒激光参数,并进行微槽加工;加工后处理;通过先宽度方向进给再深度方向进给的激光加工行程方式进行近矩形截面微槽的加工;本发明可以获得飞秒激光加工高深宽比的近矩形截面微槽的工艺流程以及工艺参数,从而可以加工符合要求的微流道,为集成度很高的电子芯片的大幅度散热提供了保障。



1. 一种飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,包括步骤:

S1,对金刚石表面进行清洗;

S2,搭建光路;

S3,设置飞秒激光器输出激光的激光参数;

S4,将所述金刚石固定在移动载物台的加工工位上;

S5,调节所述光路中的飞秒激光参数,并进行微槽加工;

S6,加工后处理;

在所述步骤S5中,通过先宽度方向进给再深度方向进给的激光加工行程方式进行近矩形截面微槽的加工。

2. 如权利要求1所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述光路包括所述飞秒激光器、第一反射镜、1/2波片、分光棱镜、快门、第二反射镜、光阑、聚焦平凸透镜,所述飞秒激光器的输出激光经过所述第一反射镜使光路转动 $90^\circ$ ,反射光依次经过所述1/2波片、所述分光棱镜、所述快门、所述第二反射镜、所述光阑、所述聚焦平凸透镜垂直照射在所述移动载物台的加工工位上。

3. 如权利要求2所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述分光棱镜设置有功率计,所述分光棱镜和所述功率计用于检测所述光路中的激光功率,所述1/2波片用于调节所述光路中的激光功率,所述快门用于控制所述光路的通断,所述光阑用于控制光斑大小,所述聚焦平凸透镜将所述光阑输出的圆形光斑激光束进行聚焦。

4. 如权利要求3所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,将所述聚焦平凸透镜的透镜中心与烧蚀点之间的距离设置为50.8mm,透过所述聚焦平凸透镜得到的烧蚀圆光斑半径为 $1.08\mu\text{m}$ ,所述烧蚀圆光斑为聚焦光斑。

5. 如权利要求1所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述步骤S3中,所述激光参数包括激光波长、重频和脉宽,所述激光波长为808nm,所述重频为1kHz,所述脉宽为120fs。

6. 如权利要求2所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述步骤S5中所述微槽加工过程包括:

S51,旋转所述1/2波片,调节所述飞秒激光功率;

S52,调节所述光阑的直径;

S53,建立坐标系,X轴为微槽宽度方向,Y轴为微槽长度方向,Z轴为光路轴线方向;通过将所述移动载物台沿Z轴移动,将所述聚焦平凸透镜的聚焦光斑焦点照射到所述金刚石表面;

S54,所述快门打开,所述移动载物台沿Y轴正方向移动形成初始微槽;

S55,当所述初始微槽加工至末端时,所述快门关闭,所述移动载物台沿X轴正方向进给 $X_0$ , $X_0$ 为水平进给量,所述移动载物台沿X轴正方向进行若干次水平进给加工;

S56,所述移动载物台沿X轴负方向回退 $X_0$ ,同时沿Z轴正方向进给 $Z_0$ , $Z_0$ 为竖直进给量,所述移动载物台沿X轴负方向进行若干次水平进给加工;

S57,所述移动载物台沿X轴正方向回退 $X_0$ ,同时沿Z轴正方向进给 $Z_0$ ,所述移动载物台沿X轴正方向进行若干次水平进给加工;

S58,重复步骤S56和S57,直至所述移动载物台沿Z轴方向进行若干次竖直进给加工后,

最终完成近矩形截面形状微槽的加工。

7. 如权利要求6所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,在步骤S55中,单次所述水平进给加工的过程为:所述移动载物台沿X轴正方向进给 $X_0$ 后,所述快门打开,控制所述移动载物台使飞秒激光沿Y轴方向进行与上一次相反方向的激光加工,加工至末端时,所述快门关闭,所述移动载物台再次沿X轴正方向进给 $X_0$ 。

8. 如权利要求6所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述飞秒激光功率为2W,所述光阑的直径调节至7mm。

9. 如权利要求8所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述金刚石厚度设置为0.5mm,所述水平进给量设置为0.013mm,所述竖直进给量设置为0.07mm,所述步骤S55、所述步骤S56、所述步骤S57中的所述水平进给加工次数为6次,所述步骤S58中的所述竖直进给加工次数为6次。

10. 如权利要求8所述的飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,其特征在于,所述金刚石厚度设置为1.6mm,所述水平进给量设置为0.01mm,所述竖直进给量设置为0.1mm,所述步骤S55、所述步骤S56、所述步骤S57中的所述水平进给加工次数为6次,所述步骤S58中的所述竖直进给加工次数为10次。

## 一种飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光微纳制造技术领域,具体涉及一种飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着电子工业的飞速发展,电子芯片的特征尺寸在不断减小,集成度却在不断提高。集成度很高的微型电子芯片工作时会产生大量的热,若不及时散除,轻则影响设备性能,重则引发事故。因此,芯片级的热管理技术成为了研究热点。研究表明,基于MEMS的微泵驱动单项流体循环微槽热沉冷却系统,可以采用复杂但成本相对较低的微加工,能够综合材料兼容性和高传热潜能等优势,是实现高热流密度传输的最佳方案,在有效转移器件热量和精确控制器件温度方面有极佳的工作前景。

[0003] 目前,微槽热沉对材料要求较高,金刚石相比于目前应用的无氧铜、玻璃以及聚合物等材料,其本身材料膨胀率低、热导率高的优异特性外,又具备微槽高效热扩展能力,被认为是新一代微槽热沉冷却系统的理想材料。然而,金刚石超硬耐磨、成型加工十分困难。传统的微细加工手段:常规激光、刻蚀、LIGA、微细铣削等手段在加工金刚石微槽方面,不能同时满足精度、高深宽比、多维加工能力等要求。

[0004] 鉴于上述缺陷,本发明创作者经过长时间的研究和实践终于获得了本发明。

### 发明内容

[0005] 为解决上述技术缺陷,本发明采用的技术方案在于,提供一种飞秒激光加工金刚石微槽截面形状的调控方法,包括步骤:

[0006] S1,对金刚石表面进行清洗;

[0007] S2,搭建光路;

[0008] S3,设置飞秒激光器的输出激光的激光参数;

[0009] S4,将所述金刚石固定在移动载物台的加工工位上;

[0010] S5,调节所述光路中的飞秒激光参数,并进行微槽加工;

[0011] S6,加工后处理;

[0012] 在所述步骤S5中,通过先宽度方向进给再深度方向进给的激光加工行程方式进行近矩形截面微槽的加工。

[0013] 较佳的,所述光路包括飞秒激光器、第一反射镜、1/2波片、分光棱镜、快门、第二反射镜、光阑、聚焦平凸透镜,所述飞秒激光器的输出激光经过所述第一反射镜使光路转动 $90^{\circ}$ ,反射光依次经过所述1/2波片、所述分光棱镜、所述快门、所述第二反射镜、所述光阑、所述聚焦平凸透镜垂直照射在所述移动载物台的加工工位上。

[0014] 较佳的,所述分光棱镜设置有功率计,所述分光棱镜和所述功率计用于检测所述光路中的激光功率,所述1/2波片用于调节所述光路中的激光功率,所述快门用于控制所述光路的通断,所述光阑用于控制光斑大小,所述聚焦平凸透镜将所述光阑输出的圆形光斑

激光束进行聚焦。

[0015] 较佳的,将所述聚焦平凸透镜的透镜中心与烧蚀点之间的距离设置为50.8mm,透过所述聚焦平凸透镜得到的烧蚀圆光斑半径为1.08 $\mu$ m,所述烧蚀圆光斑为聚焦光斑。

[0016] 较佳的,所述步骤S3中,所述激光参数包括激光波长、重频和脉宽,所述激光波长为808nm,所述重频为1kHz,所述脉宽为120fs。

[0017] 较佳的,所述步骤S5中所述微槽加工过程包括:

[0018] S51,旋转所述1/2波片,调节所述飞秒激光功率;

[0019] S52,调节所述光阑的直径;

[0020] S53,建立坐标系,X轴为微槽宽度方向,Y轴为微槽长度方向,Z轴为光路轴线方向;通过将所述移动载物台沿Z轴移动,将所述聚焦平凸透镜的聚焦光斑焦点照射到所述金刚石表面;

[0021] S54,所述快门打开,所述移动载物台沿Y轴正方向移动形成初始微槽;

[0022] S55,当所述初始微槽加工至末端时,所述快门关闭,所述移动载物台沿X轴正方向进给 $X_0$ , $X_0$ 为水平进给量,所述移动载物台沿X轴正方向进行若干次水平进给加工;

[0023] S56,所述移动载物台沿X轴负方向回退 $X_0$ ,同时沿Z轴正方向进给 $Z_0$ , $Z_0$ 为竖直进给量,所述移动载物台沿X轴负方向进行若干次水平进给加工;

[0024] S57,所述移动载物台沿X轴正方向回退 $X_0$ ,同时沿Z轴正方向进给 $Z_0$ ,所述移动载物台沿X轴正方向进行若干次水平进给加工;

[0025] S58,重复步骤S56和S57,直至所述移动载物台沿Z轴方向进行若干次竖直进给加工后,最终完成近矩形截面形状微槽的加工。

[0026] 较佳的,在步骤S55中,单次所述水平进给加工的过程为:所述移动载物台沿X轴正方向进给 $X_0$ 后,所述快门打开,控制所述移动载物台使飞秒激光沿Y轴方向进行与上一次相反方向的激光加工,加工至末端时,所述快门关闭,所述移动载物台再次沿X轴正方向进给 $X_0$ 。

[0027] 较佳的,所述飞秒激光功率为2W,所述光阑的直径调节至7mm。

[0028] 较佳的,所述金刚石厚度为0.5mm时,所述水平进给量为0.013mm,所述竖直进给量为0.07mm,所述步骤S55、所述步骤S56、所述步骤S57中的所述水平进给加工次数为6次,所述步骤S58中的所述竖直进给加工次数为6次。

[0029] 较佳的,所述金刚石厚度为1.6mm时,所述水平进给量为0.01mm,所述竖直进给量为0.1mm,所述步骤S55、所述步骤S56、所述步骤S57中的所述水平进给加工次数为6次,所述步骤S58中的所述竖直进给加工次数为10次。

[0030] 与现有技术比较本发明的有益效果在于:本发明可以获得飞秒激光加工高深宽比的近矩形截面微槽的工艺流程以及工艺参数,从而可以加工符合要求的微流道,为集成度很高的电子芯片的大幅度散热提供了保障。

## 附图说明

[0031] 图1为所述光路的结构示意图;

[0032] 图2为飞秒激光和金刚石的初始位置图;

[0033] 图3为初始微槽的加工示意图;

- [0034] 图4为水平进给状态示意图；
- [0035] 图5为水平进给后加工示意图；
- [0036] 图6为若干次水平进给后加工示意图；
- [0037] 图7为竖直进给状态示意图；
- [0038] 图8为竖直进给后加工示意图；
- [0039] 图9为竖直进给后再次水平进给示意图；
- [0040] 图10为微槽最终完成图；
- [0041] 图11为实施例二近矩形截面形状微槽的加工结果图；
- [0042] 图12为实施例三近矩形截面形状微槽的加工结果图。
- [0043] 图中数字表示：
- [0044] 1-飞秒激光器；2-第一反射镜；3-1/2波片；4-分光棱镜；5-功率计；6-快门；7-第二反射镜；8-光阑；9-聚焦平凸透镜；10-移动载物台；11-金刚石。

### 具体实施方式

[0045] 以下结合附图,对本发明上述的和另外的技术特征和优点作更详细的说明。

[0046] 实施例一

[0047] 本实施例中,本发明采用飞秒激光技术对金刚石近矩形截面微槽的加工方法,具体包括以下步骤:

[0048] S1,对金刚石11的表面依次用丙酮、无水乙醇、去离子水进行超声波清洗,并采用冷风吹干,得到干净的金金刚石样品表面;

[0049] S2,搭建光路;

[0050] S3,设置飞秒激光器1的输出激光的激光参数;

[0051] S4,将所述金刚石11固定在移动载物台10的加工工位上;

[0052] S5,调节所述光路中的飞秒激光参数,并进行微槽加工;

[0053] S6,加工后处理。

[0054] 在步骤S2中,如图1所示,图1为所述光路的结构示意图;所述光路具体包括飞秒激光器1、第一反射镜2、1/2波片3、分光棱镜4、快门6、第二反射镜7、光阑8、聚焦平凸透镜9,所述飞秒激光器1的输出激光经过所述第一反射镜2使光路转动90°,反射光依次经过所述1/2波片3、所述分光棱镜4、所述快门6、所述第二反射镜7、所述光阑8、所述聚焦平凸透镜9垂直照射在所述移动载物台10的加工工位上,所述飞秒激光器1、所述快门6、所述移动载物台10和电脑连接,采用双面胶将所述金刚石11粘结固定在所述移动载物台10上。所述分光棱镜4设置有功率计5,利用所述分光棱镜4和所述功率计5组合检测所述光路中的激光功率,利用所述1/2波片3调节所述光路中的激光功率。同时电脑通过所述快门6控制光路的通断,所述第二反射镜7使光路再次转动90°,所述光阑8控制光斑大小,采用所述聚焦平凸透镜9实现所述光阑8输出的圆形光斑激光束的聚焦。

[0055] 步骤S3中,所述激光参数包括激光波长、重频和脉宽。

[0056] 如图2至图10所示,图2至图10为本发明金刚石微槽加工方法的加工流程示意图;所述步骤S5中所述微槽加工的具体过程包括步骤:

[0057] S51,旋转所述1/2波片3,调节所述飞秒激光功率;

[0058] S52,调节所述光阑8的直径;

[0059] S53,建立坐标系,X轴为微槽宽度方向,Y轴为微槽长度方向,Z轴为光路轴线方向;利用电脑控制所述移动载物台10沿Z轴移动,将所述聚焦平凸透镜9的聚焦光斑焦点照射到所述金刚石11表面;

[0060] S54,所述快门6打开,所述移动载物台10沿Y轴正方向移动形成初始微槽;

[0061] S55,当所述初始微槽加工至末端时,所述快门6关闭,所述移动载物台10沿X轴正方向进给 $X_0$ , $X_0$ 为水平进给量,所述移动载物台10沿X轴正方向进行若干次进给加工;

[0062] S56,所述移动载物台10沿X轴负方向回退 $X_0$ ,同时沿Z轴正方向进给 $Z_0$ , $Z_0$ 为竖直进给量,所述移动载物台10沿X轴负方向进行若干次进给加工;

[0063] S57,所述移动载物台10沿X轴正方向回退 $X_0$ ,同时沿Z轴正方向进给 $Z_0$ ,所述移动载物台10沿X轴正方向进行若干次进给加工;

[0064] S58,重复步骤S56和S57,直至所述移动载物台10沿Z轴方向进给若干次后,最终完成近矩形截面形状微槽的加工。

[0065] 在步骤S56中,单次进给加工主要过程为:所述移动载物台10沿X轴正方向进给 $X_0$ 后,所述快门6打开,控制所述移动载物台使飞秒激光沿Y轴方向进行与上一次相反方向的激光加工,加工至末端时,所述快门6关闭,所述移动载物台10再次沿X轴正方向进给 $X_0$ 。 $X_0$ 的进给加工一般设置为6次,从而形成“己”字型的加工路径。

[0066] 所述加工后处理主要包括:将加工完成后的金刚石样片分别置于丙酮溶液、乙醇溶液和去离子水中进行超声清洗15min,目的在于去除加工后粘附在样件表面和微槽内部的沉积物等,减小对样件后续使用过程中的影响,并利用扫描电子显微镜对加工后微槽表面进行检测。

[0067] 本发明采用先宽度方向进给再深度方向进给的“己”字型加工方法来加工金刚石近矩形截面形状的微槽,从而掌握飞秒激光加工金刚石近矩形微槽的一系列工艺参数,加工出符合要求的微流道,提高电子芯片散热能力。

[0068] 实施例二

[0069] 本实施例中采用本发明的加工方法在0.5mm厚的金刚石上加工近矩形截面微槽,具体包括以下步骤:

[0070] S1,对所述金刚石11的表面依次用丙酮、无水乙醇、去离子水进行超声波清洗,然后利用冷风吹干得到干净的是金刚石11表面;

[0071] S2,搭建光路,所述光路包括所述飞秒激光器1,所述飞秒激光器1输出光经过第一反射镜2使光路转动 $90^\circ$ ,所述反射光依次经过1/2波片3、分光棱镜4、快门6、第二反射镜7、光阑8、聚焦平凸透镜9垂直照射在移动载物台10的加工工位上,所述飞秒激光器1、所述快门6、所述移动载物台10和电脑连接,采用双面胶将所述金刚石11粘结在所述移动载物台10上。

[0072] 利用所述分光棱镜4和功率计5组合检测光路激光功率,利用所述1/2波片3调节光路激光功率。同时电脑通过所述快门6控制光路的通断,所述第二反射镜7使光路再次转动 $90^\circ$ ,所述光阑8控制光斑大小,采用焦距为50.8mm的聚焦平凸透镜9将光路中的圆形光斑激光束进行聚焦,最后将所述聚焦平凸透镜9的透镜中心与烧蚀点之间的距离设置为50.8mm,透过所述聚焦平凸透镜9得到的烧蚀圆光斑半径为 $1.08\mu\text{m}$ ,所述烧蚀圆光斑即为聚焦光斑。

[0073] S3,利用电脑调节所述飞秒激光器1输出激光波长为808nm,重频为1kHz,脉宽为120fs;

[0074] S4,将所述金刚石11固定在移动载物台10加工工位上;

[0075] S5,调节所述光路中的飞秒激光参数,并进行微槽加工;

[0076] S6,加工后处理:将加工完成后的金刚石样片分别置于丙酮溶液、乙醇溶液和去离子水中进行超声清洗15min,目的在于去除加工后粘附在样件表面和微槽内部的沉积物等,减小对样件后续使用过程中的影响,并利用扫描电子显微镜对加工后微槽表面进行检测。

[0077] 对于步骤S5,在本实施例的具体设置为:

[0078] S51,旋转所述1/2波片,调节飞秒激光功率至2W;

[0079] S52,将所述光阑8的直径调节至7mm;

[0080] S53,建立坐标系,X轴为微槽宽度方向,Y轴为微槽长度方向,Z轴为光路轴线方向;利用电脑控制所述移动载物台10沿Z轴移动,将所述聚焦平凸透镜9的聚焦光斑焦点照射到所述金刚石11表面;

[0081] S54,通过程序控制所述快门6打开,继续利用电脑控制所述移动载物台10沿Y轴正方向移动,速度为0.1mm/s,扫一根长度L为2mm的初始微槽;

[0082] S55,当所述初始微槽加工至末端时,所述快门6关闭,所述移动载物台10沿X轴正方向进给水平进给量,所述水平进给量为0.013mm,所述移动载物台10沿X轴正方向进行6次进给加工;

[0083] S56,所述移动载物台10沿X轴负方向回退0.013mm,同时沿Z轴正方向进给竖直进给量,所述竖直进给量为0.07mm,所述移动载物台10沿X轴负方向进行6次进给加工;

[0084] S57,所述移动载物台10沿X轴正方向回退0.013mm,同时沿Z轴正方向进给竖直进给量,所述竖直进给量为0.07mm,所述移动载物台10沿X轴正方向进行6次进给加工;

[0085] S58,重复步骤S56和S57,直至所述移动载物台10沿Z轴方向进给6次后,最终完成微槽深度为0.5mm的近矩形截面形状微槽;所述微槽深度即所述Z轴方向上的尺寸。

[0086] 如图11所示,图11为本实施例激光功率为2W、扫描速度0.1mm/s,宽度方向每次进给量0.013mm,进给6次;深度方向每次进给量0.07mm,进给6次加工的槽深为0.5mm的近矩形截面形状通槽的结果图;

[0087] 实施例三

[0088] 本实施例中采用本发明的加工方法在1.6mm厚的金刚石上加工近矩形截面微槽,具体包括以下步骤:

[0089] S1,对所述金刚石11的表面依次用丙酮、无水乙醇、去离子水进行超声波清洗,然后利用冷风吹干得到干净的是金刚石11表面;

[0090] S2,搭建光路,所述光路包括所述飞秒激光器1,所述飞秒激光器1输出光经过第一反射镜2使光路转动90°,所述反射光依次经过1/2波片3、分光棱镜4、快门6、第二反射镜7、光阑8、聚焦平凸透镜9垂直照射在移动载物台10的加工工位上,所述飞秒激光器1、所述快门6、所述移动载物台10和电脑连接,采用双面胶将所述金刚石11粘结在所述移动载物台10上。

[0091] 利用所述分光棱镜4和功率计5组合检测光路激光功率,利用所述1/2波片3调节光路激光功率。同时电脑通过所述快门6控制光路的通断,所述第二反射镜7使光路再次转动

90°，所述光阑8控制光斑大小，采用焦距为50.8mm的聚焦平凸透镜9将光路中的圆形光斑激光束进行聚焦，最后将所述聚焦平凸透镜9的透镜中心与烧蚀点之间的距离设置为50.8mm，透过所述聚焦平凸透镜9得到的烧蚀圆光斑半径为1.08 $\mu$ m，所述烧蚀圆光斑即为聚焦光斑。

[0092] S3，利用电脑调节所述飞秒激光器1输出激光波长为808nm，重频为1kHz，脉宽为120fs；

[0093] S4，将所述金刚石11固定在移动载物台10加工工位上；

[0094] S5，调节所述光路中的飞秒激光参数，并进行微槽加工；

[0095] S6，加工后处理：将加工完成后的金刚石样片分别置于丙酮溶液、乙醇溶液和去离子水中进行超声清洗15min，目的在于去除加工后粘附在样件表面和微槽内部的沉积物等，减小对样件后续使用过程中的影响，并利用扫描电子显微镜对加工后微槽表面进行检测。

[0096] 对于步骤S5，在本实施例的具体设置为：

[0097] S51，旋转所述1/2波片，调节飞秒激光功率至2W；

[0098] S52，将所述光阑8的直径调节至7mm；

[0099] S53，建立坐标系，X轴为微槽宽度方向，Y轴为微槽长度方向，Z轴为光路轴线方向；利用电脑控制所述移动载物台10沿Z轴移动，将所述聚焦平凸透镜9的聚焦光斑焦点照射到所述金刚石11表面；

[0100] S54，通过程序控制所述快门6打开，继续利用电脑控制所述移动载物台10沿Y轴正方向移动，速度为0.1mm/s，扫一根长度为2mm的初始微槽；

[0101] S55，当所述初始微槽加工至末端时，所述快门6关闭，所述移动载物台10沿X轴正方向进给水平进给量，所述水平进给量为0.01mm，所述移动载物台10沿X轴正方向进行6次进给加工；

[0102] S56，所述移动载物台10沿X轴负方向回退0.01mm，同时沿Z轴正方向进给竖直进给量，所述竖直进给量为0.1mm，所述移动载物台10沿X轴负方向进行6次进给加工；

[0103] S57，所述移动载物台10沿X轴正方向回退0.01mm，同时沿Z轴正方向进给竖直进给量，所述竖直进给量为0.1mm，所述移动载物台10沿X轴正方向进行6次进给加工；

[0104] S58，重复步骤S56和S57，直至所述移动载物台10沿Z轴方向进给10次后，最终完成微槽深度为1.6mm的近矩形截面形状微槽；所述微槽深度即所述Z轴方向上的尺寸。

[0105] 如图12所示，图12为本实施例激光功率为2W、扫描速度0.1mm/s，宽度方向每次进给量0.01mm，进给6次。深度方向每次进给量0.1mm，进给10次加工的槽深为1.6mm的近矩形截面形状通槽的结果图。

[0106] 以上所述仅为本发明的较佳实施例，对本发明而言仅仅是说明性的，而非限制性的。本专业技术人员理解，在本发明权利要求所限定的精神和范围内可对其进行许多改变，修改，甚至等效，但都将落入本发明的保护范围内。

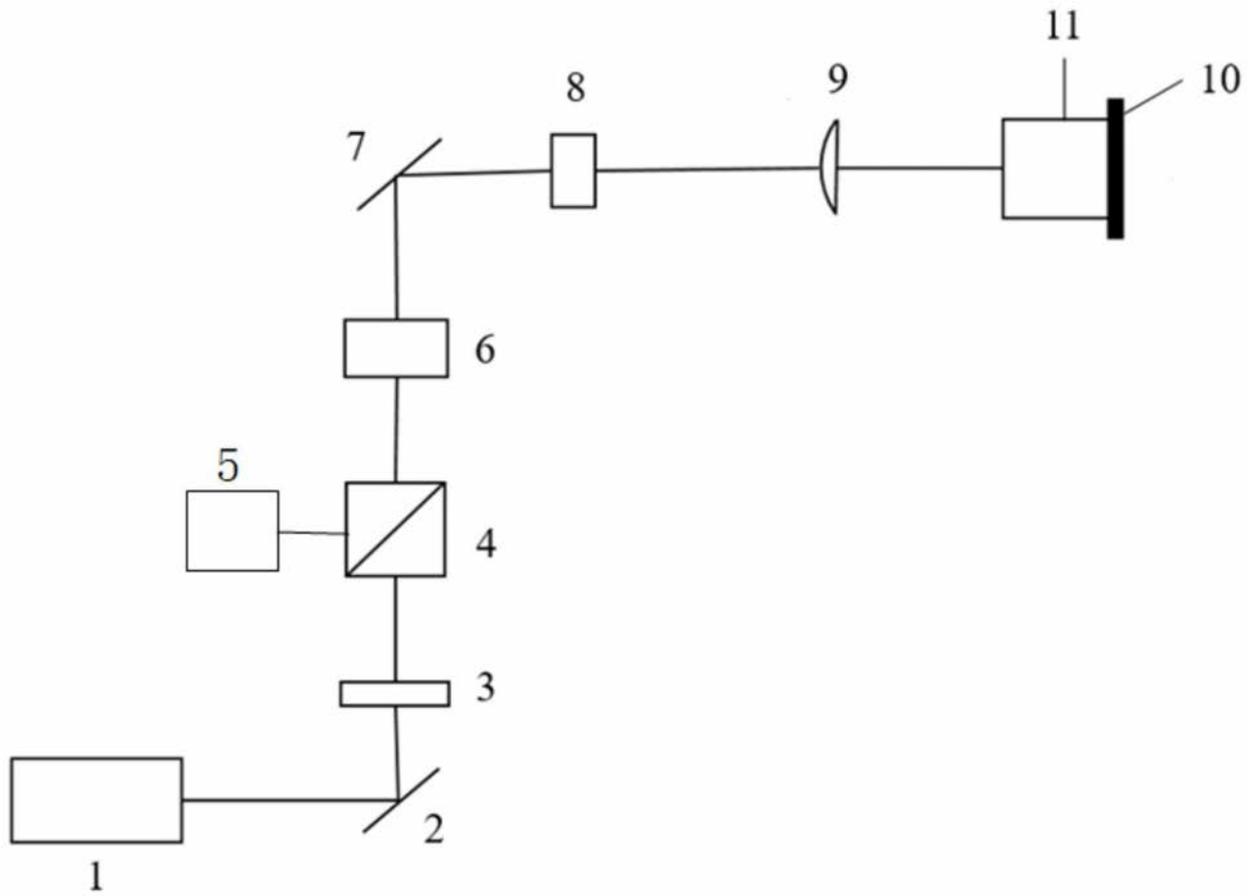


图1

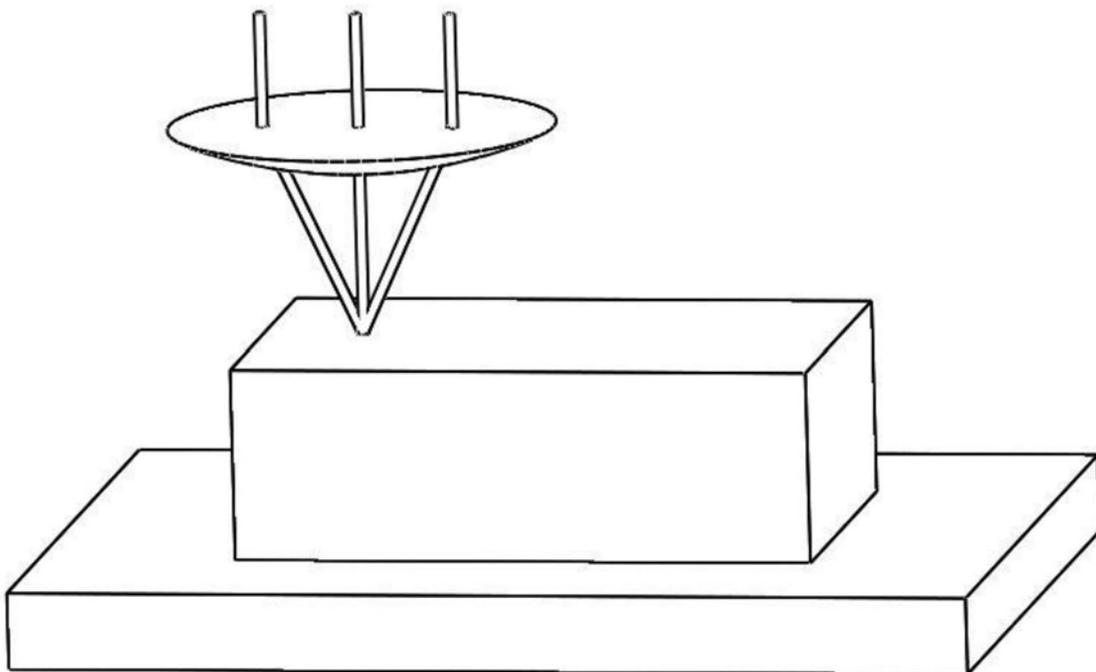


图2

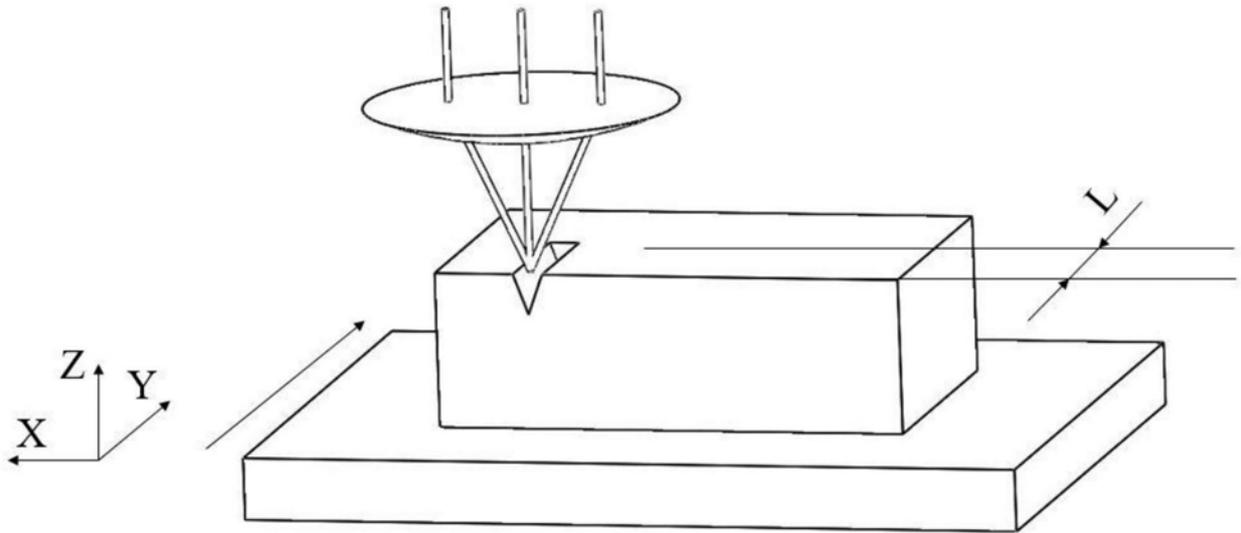


图3

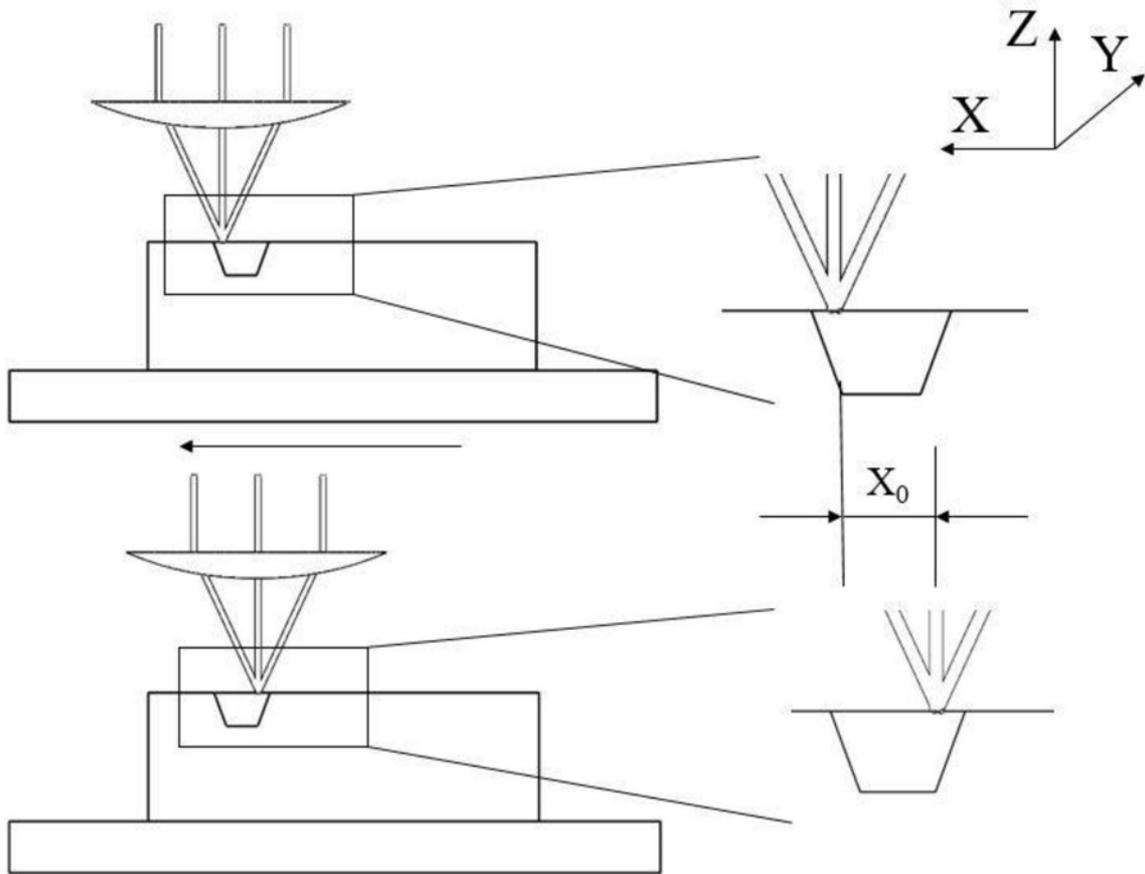


图4

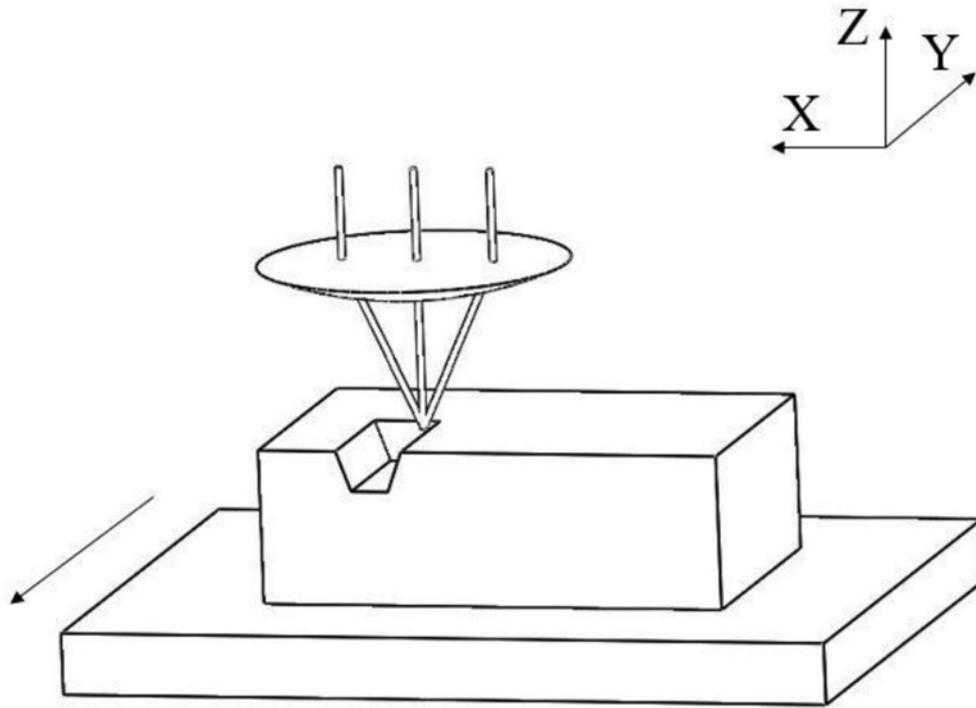


图5

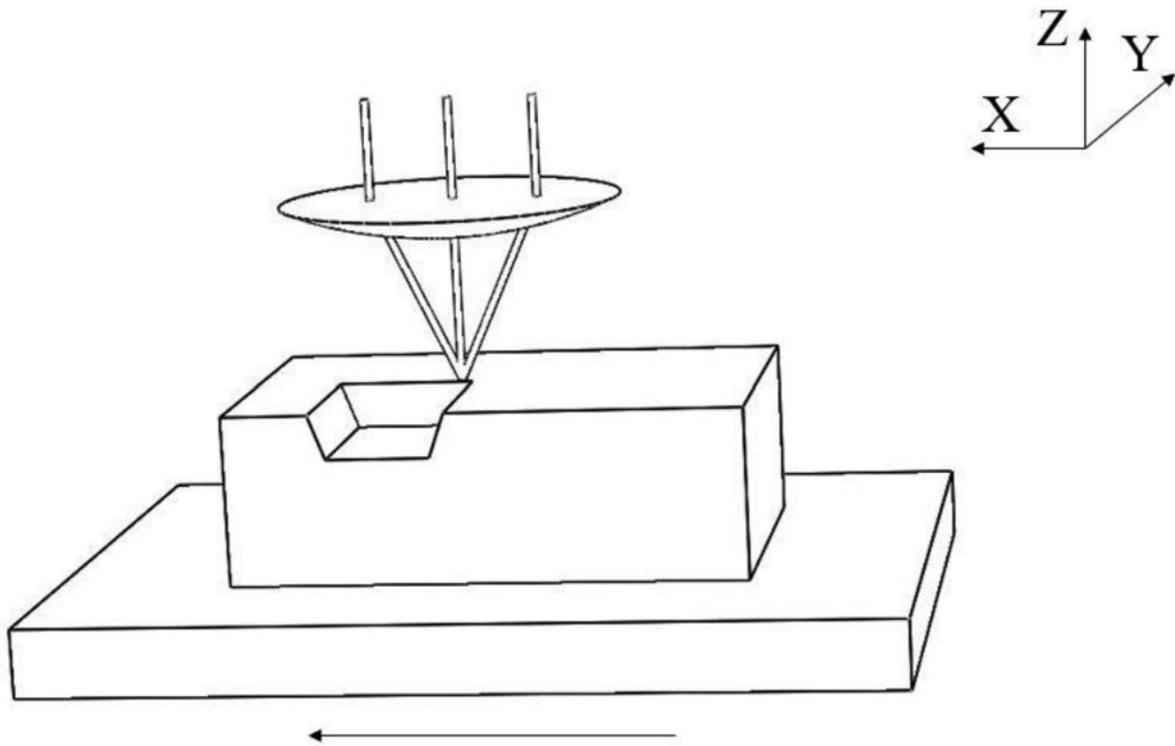


图6

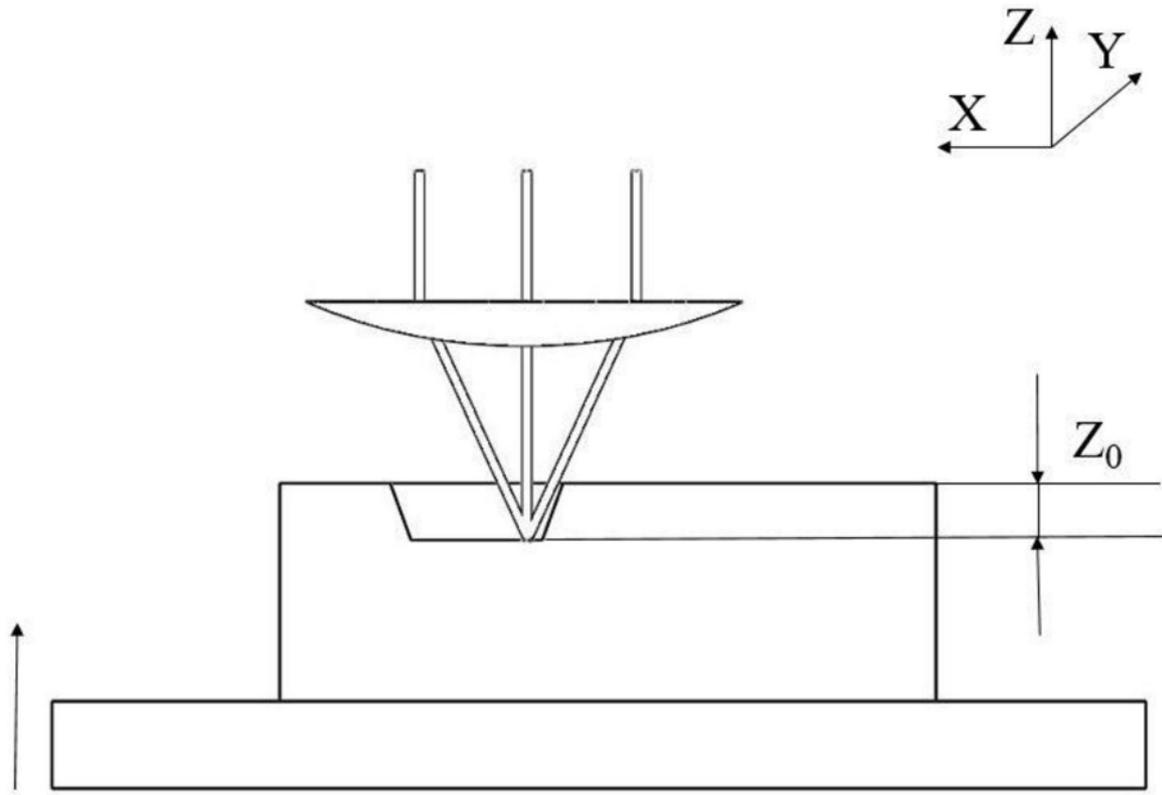


图7

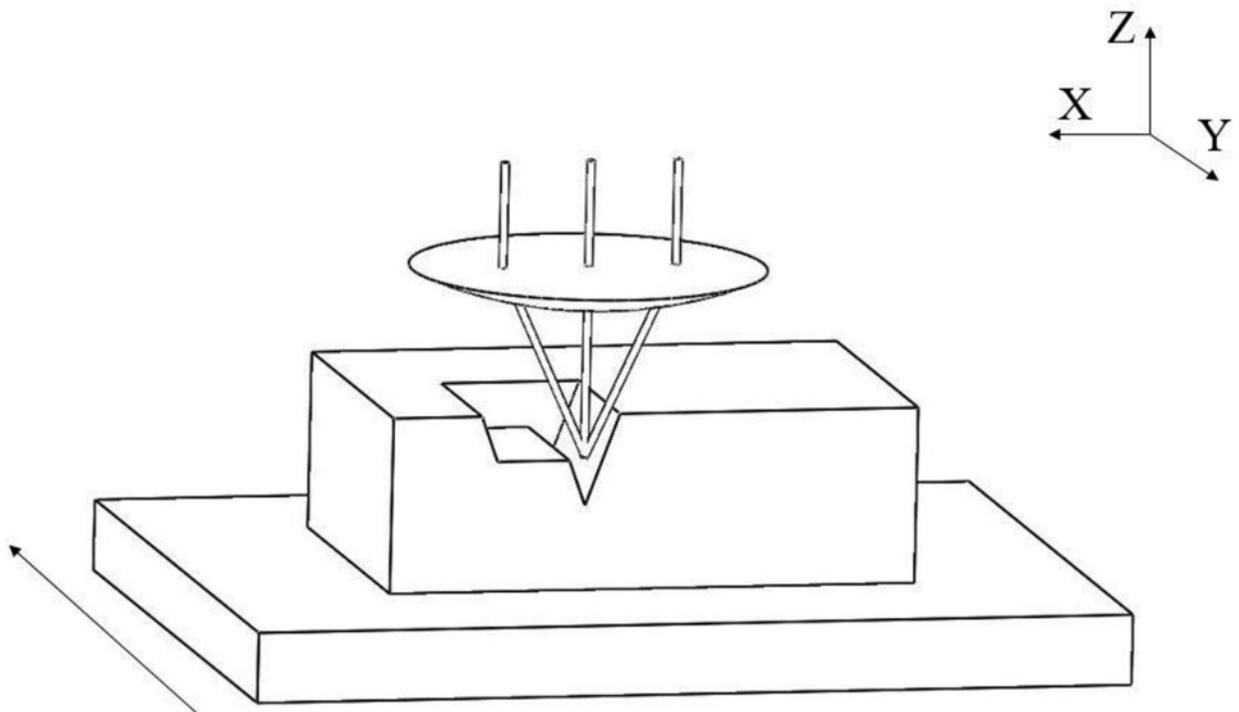


图8

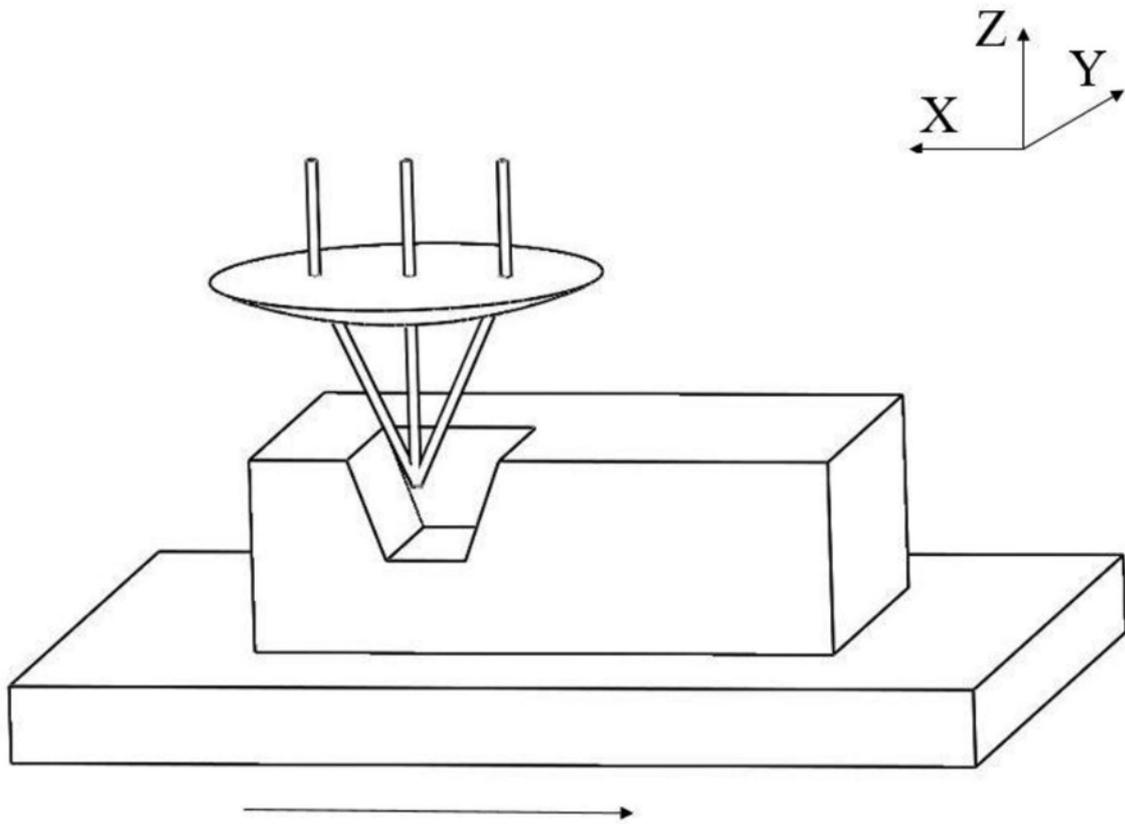


图9

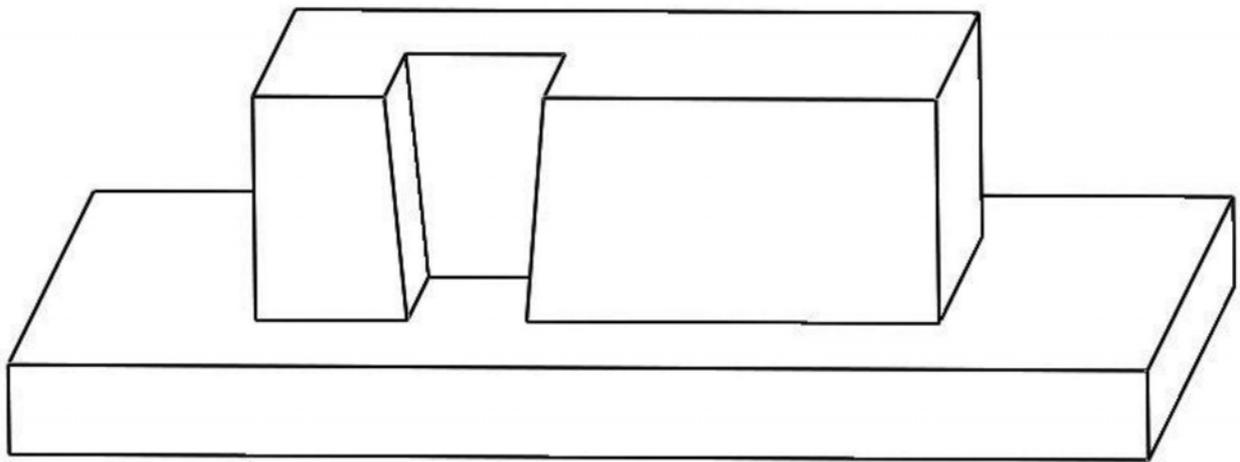


图10

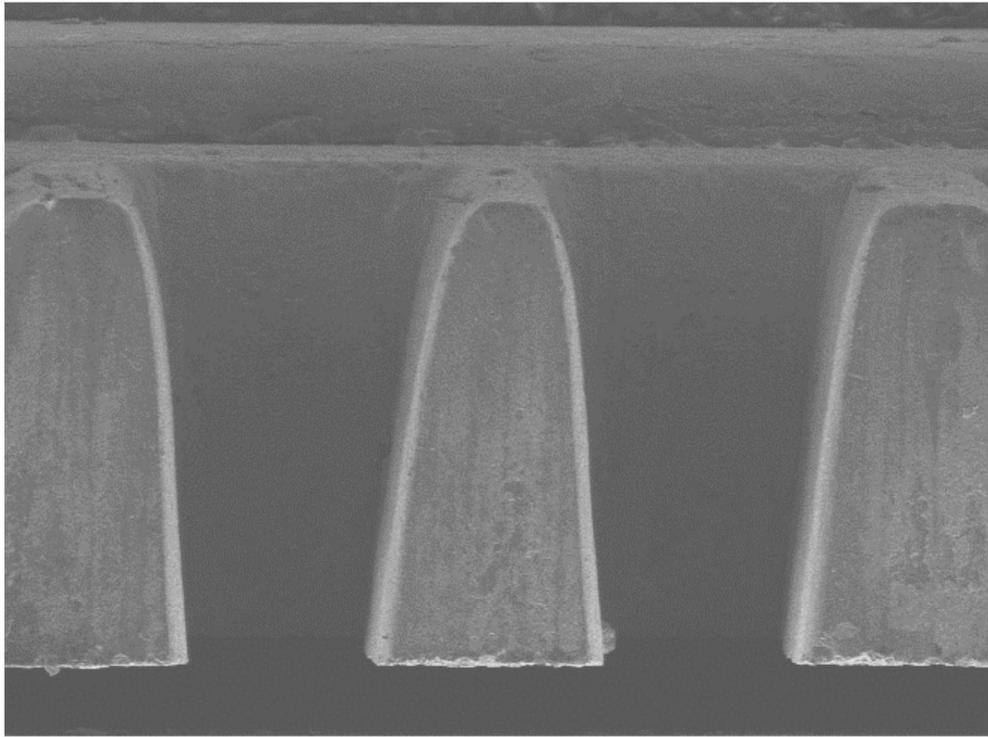


图11

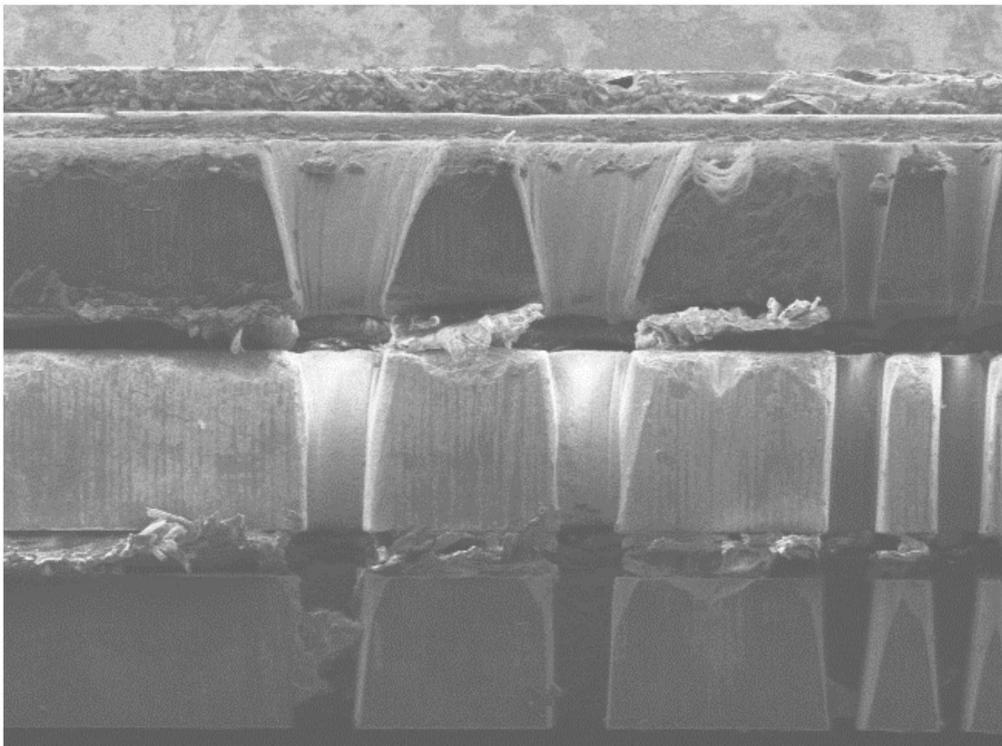


图12