



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 113267082 B

(45) 授权公告日 2022.03.04

(21) 申请号 202110419168.6

(22) 申请日 2021.04.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113267082 A

(43) 申请公布日 2021.08.17

(73) 专利权人 北京科技大学

地址 100083 北京市海淀区学院路30号

专利权人 北京科技大学顺德研究生院

(72) 发明人 魏俊俊 涂军磊 史佳东 陈良贤

张建军 李成明 刘金龙 高旭辉

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限

责任公司 11237

代理人 张仲波

(51) Int. Cl.

F28F 21/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111843165 A, 2020.10.30

CN 108682662 A, 2018.10.19

CN 111029895 A, 2020.04.17

CN 1794444 A, 2006.06.28

CN 110164835 A, 2019.08.23

CN 109592988 A, 2019.04.09

CN 110557936 A, 2019.12.10

DE 4315580 A1, 1994.11.17

DE 102007013410 A1, 2007.11.15

US 10217648 B1, 2019.02.26

审查员 朱洋洋

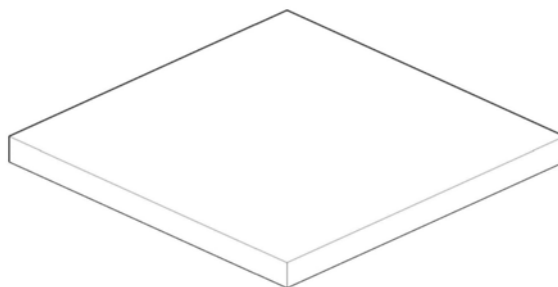
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法

(57) 摘要

一种具备歧管式流体路径的全金刚石微槽道散热器的制备方法,属于高功率器件散热领域。歧管式全金刚石微通道由封装盖板、分流基板、微通道基板和封装底板组成。首先,通过二次形核及动态调节沉积面的CVD制备工艺,制备高品质、无裂纹、金刚石自支撑厚膜;再通过机械研磨抛光平整化表面;然后采用特殊的激光加工工艺实现对金刚石板内矩形微通道尺寸定型;同时对焊接面进行金属化处理,提高其焊接性能;最后,通过真空钎焊技术将金刚石板按顺序焊接到一起,获得尺寸及槽型合格的歧管式全金刚石微槽道换热器,使其满足高热流密度换热器的散热设计要求。这种微通道换热器可用于大功率通信及导航卫星、定向高能武器以及宽禁带半导体雷达等高功率先进设备的有效热管理。



1. 一种歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法, 其特征在于采用直流喷射CVD方式, 通过二次形核及动态调节沉积台高度制备高质量自支撑金刚石厚膜, 然后通过研磨抛光工艺平整化表面; 随后采用专用激光器通过特殊工艺加工成型具有矩形截面通道的金刚石板, 并在金刚石板表面溅射过渡层, 通过焊接实现板件的牢固连接; 同时, 通过金刚石板组合而成的散热器内部具有歧管式的微流体通道设计, 用于泵驱传热流体回路, 可以同时实现流体扰动和金刚石的高效热扩;

具体制备步骤如下:

1) 使用直流电弧等离子体喷射金刚石膜沉积系统, 选用高温钼或石墨作为金刚石厚膜沉积衬底; 设定初始沉积工艺后, 在沉积过程中多次通过增多高能碳原子基团浓度, 实现二次形核, 同时在沉积阶段, 动态调整沉积台高度, 使沉积面距阳极间距始终保持在特定范围, 获得厚度为3~5mm的金刚石厚膜;

2) 为满足后续金刚石板之间的高质量连接, 必须保证各金刚石板表面平整度; 利用研磨抛光机对金刚石厚膜进行研磨抛光, 使其表面粗糙度达到0.1~2 μ m之间;

3) 为获得符合结构尺寸的金刚石板, 需要利用高能激光束流切割金刚石膜; 但由于金刚石厚膜在沉积过程中产生的内应力和激光束在加工过程中形成的热应力集中, 这使得金刚石厚膜在激光加工中易发生断裂; 所以, 在加工时需先采用低功率、低速率激光切割工艺, 后续调整为加工工艺参数; 激光器选用YAG激光发生器, 激光波长1064nm; 设定加工参数及加工路径, 将步骤2) 后金刚石膜加工成型特定尺寸的金刚石板, 板材厚度达1~2mm;

4) 为实现在金刚石板构建矩形截面微流通道, 需精确控制激光光斑大小、聚焦深度、光束汇聚角度、切割次数以及切割速率参数, 同时对金刚石板正反两面精细加工, 获得高深宽比结构和良好的表面质量的矩形截面的微通道; 激光开口入射角度需随加工深度的变化而不断变化, 以克服高斯激光加工弊端; 同时由于通道尺寸限制了激光的偏转角度范围, 为实现矩形通道, 采用正反双面加工; 通过偏转激光头或调整样品台X-Y方向上的倾斜高度, 调节激光光束的角度;

5) 采用高真空溅射镀膜机, 在步骤4) 后各金刚石板间接触面镀制TiNi过渡层; 对激光加工而成的各金刚石板进行有效的连接, 以形成歧管式全金刚石微通道; 首先, 需要对金刚石板间连接面金属化, 一方面提高焊接接头的结合强度, 金属镀层能起过渡作用, 将金刚石与结合剂牢固结合起来, 从而提高整个焊接接头的结合强度; 另一方面, 在高温焊接时, 镀层可以隔离保护金刚石, 使之难以发生石墨化、氧化;

6) 通过表面金属化及真空焊接技术将步骤5) 后的金刚石板按顺序焊接起来, 实现金刚石板之间的有效连接, 且满足高焊接强度及低热阻的要求。

2. 如权利要求1所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法, 其特征在于所述的微通道散热器为全金刚石材质, 散热器厚度尺寸在4~8mm。

3. 如权利要求1所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法, 其特征在于所述的全金刚石微通道的流动路径为歧管式, 截面形状为矩形, 大大增加换热面积及冷热流体混合。

4. 如权利要求1所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法, 其特征在于通过多次形核及动态调节沉积台高度的方法, 获得高质量金刚石厚膜, 厚度为3~5mm。

5. 如权利要求1所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法, 其特征在于步骤2) 机械研磨方式是要将其表面粗糙度减至粗糙度为0.1~2 μ m, 同时CVD金刚石膜厚度均匀性 $\pm$

10%以内。

6.如权利要求1所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,其特征在于分流基板和微槽基板加工是通过精确控制激光光斑大小、聚焦深度、光束汇聚角度、切割次数、切割速率及正反两面切割;以小范围调节激光光束的偏转角度来克服激光能量的高斯分布加工弊端,获得高深宽比矩形截面槽道结构形状。

7.如权利要求1所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,其特征在于所述金刚石板焊接面镀TiNi过渡层,实现焊接表面金属化,便于后续焊接。

8.如权利要求1所述的歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,其特征在于所述金刚石板通过真空钎焊技术连接起来,焊接结合强度大且热阻小。

9.如权利要求1所述的歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,其特征在于采用直流喷射CVD方法沉积金刚石厚膜,调整形核工艺,实现二次再形核,抑制大的柱状晶异常生长,同时随着金刚石膜不断沉积动态降低沉积台高度,提高金刚石膜晶粒致密度,从而保证金刚石厚膜高质量沉积,有效生长厚度达到3.5mm以上。

一种歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于高热流密度电子器件散热领域,特别是提供了一种用于超高热流密度散热的歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,是一种具有复杂交错结构的全金刚石微通道散热器。

背景技术

[0002] 随着电子器件的微型化和集成化不断提高,电子器件运行时产生的热流密度快速提高,这些热量若不及时排除,将会严重影响电子器件和电子系统的工作稳定性和安全可靠。据统计,55%的电子设备失效是由于过高的工作温度导致的。具有高发热功率系统的微电子设备的微通道有效热管理成为微电子设备发展亟待解决的问题。微通道散热器由于具有很高的表体比,其传热速率远高于普通冷却设备所能达到的水平,为微电子设备结构设计紧凑和高效冷却提供了有利条件。

[0003] 当前常用的微通道材料多为金属材料(例如Cu)和半导体材料(例如Si)。硅材料的热导率随温度有较大的变化,限制了其对高热流密度的有效耗散,且硅微通道强度较低,难以实现精细化加工,焊接工艺复杂。铜微通道结构虽具有较高的热导率($398\text{W/m}\cdot\text{K}$),但机械加工方法存在加工剪应力,不能满足微通道高深宽比结构的要求,对于高热流密度,其耗散能力有限。同时由于Cu、Si等传统的微通道热沉制备材料热膨胀系数大,受热后膨胀容易引发循环热应力损坏电子元器件,难以满足先进电子技术对封装散热材料的要求。

[0004] 金刚石是自然界中已知热导率最高的材料,同时其具有非常稳定的物理和化学惰性,以及极高的机械强度和电绝缘性,被认为是制作微通道散热器的理想材料。专利CN108682662A公开了一种金刚石微通道制备方法,然而上诉方法成型的全金刚石微通道槽道裸露,需盖板实现密封安装,增加了封装难度。杂志Materials Letters2019年,第255卷,文献号码:126556,在具有沟槽的单晶金刚石上外延横向生长金刚石层,获得了自密封微通道,但所述微通道尺寸小,形状不规整,且通道路径为平直通道,易在高热流密度下引发沸腾不稳定性及局部干涸现象,无法有效应对超高热流密度器件的热管理系统设计要求。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种获得厚金刚石的工艺,并且基于厚金刚石板制备双层交错矩形结构全金刚石微通道,同时采用歧管式设计,利用冷却剂在微通道内的分流和充分混合,加强扰动,破坏热边界层,降低流动不稳定性,增大有效换热面积,提高冷却能力,解决高热流密度电子器件的散热问题。首先采用直流电弧等离子体喷射CVD系统,通过多次再形核及动态调整沉积台高度,实现大面积金刚石厚膜的均匀致密沉积。采用机械研磨抛光技术,去除金刚石膜表面的突起,实现表面平整化;随后激光成型一定尺寸金刚石板,并通过动态调节激光入射角度,精密加工金刚石板正反两面,在金刚石板内实现具有矩形截面形状的高深宽比微通道加工,最后,将金刚石板按顺序焊接起来,形成歧管式全金刚石微通道散热器。

[0006] 一种歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,其特征在于采用直流喷射CVD方式,通过二次形核及动态调节沉积台高度制备高质量自支撑金刚石厚膜,然后通过研磨抛光工艺平整化表面;随后采用专用激光器通过特殊工艺加工成型具有矩形截面通道的金刚石板,并在金刚石板表面溅射过渡层,通过焊接实现板件的牢固连接;同时,通过金刚石板组合而成的散热器内部具有歧管式的微流体通道设计,用于泵驱传热流体回路,可以同时实现流体扰动和金刚石的高效热扩。

[0007] 如上所述歧管式全金刚石微通道散热器的制备方法,具体制备步骤如下:

[0008] 1) 使用直流电弧等离子体喷射金刚石膜沉积系统,选用高温钼或石墨作为金刚石厚膜沉积衬底;设定初始沉积工艺后,在沉积过程中多次通过增多高能碳原子基团浓度,实现二次形核,同时在沉积阶段,动态调整沉积台高度,使沉积面距阳极间距始终保持在特定范围;获得厚度为3~5mm的金刚石厚膜。

[0009] 2) 为满足后续金刚石板之间的高质量连接,必须保证各金刚石板表面平整度;利用研磨抛光机对金刚石厚膜进行研磨抛光,使其表面粗糙度达到0.1~2 μ m之间;

[0010] 3) 为获得符合结构尺寸的金刚石板,需要利用高能激光束流切割金刚石膜;但由于金刚石厚膜在沉积过程中产生的内应力和激光束在加工过程中形成的热应力集中,这使得金刚石厚膜在激光加工中易发生断裂;所以,在加工时需先采用低功率、低速率激光切割工艺,后续调整为加工工艺参数;激光器选用YAG激光发生器,激光波长1064nm;设定加工参数及加工路径,将步骤2)后金刚石膜加工成型特定尺寸的金刚石板,板材厚度达1~2mm;

[0011] 4) 为实现在金刚石板构建矩形截面微流通道,需精确控制激光光斑大小、聚焦深度、光束汇聚角度、切割次数以及切割速率等参数,同时对金刚石板正反两面精细加工,获得高深宽比结构和良好的表面质量的矩形截面的微通道。激光开口入射角度需随加工深度的变化而不断变化,以克服高斯激光加工弊端。同时由于通道尺寸限制了激光的偏转角度范围,为实现矩形通道,采用正反双面加工;通过偏转激光头或调整样品台X-Y方向上的倾斜高度,调节激光光束的角度;

[0012] 5) 采用高真空溅射镀膜机,在步骤4)后各金刚石板间接触面镀制TiNi过渡层;对激光加工而成的各金刚石板进行有效的连接,以形成歧管式全金刚石微通道;首先,需要对金刚石板间连接面金属化,一方面提高焊接接头的结合强度,金属镀层能起过渡作用,将金刚石与结合剂牢固结合起来,从而提高整个焊接接头的结合强度;另一方面,在高温焊接时,镀层可以隔离保护金刚石,使之难以发生石墨化、氧化;

[0013] 6) 通过表面金属化及真空焊接技术将步骤5)后的金刚石板按顺序焊接起来,实现金刚石板之间的有效连接,且满足高焊接强度及低热阻的要求。焊接的钎料可以选择Ag-Cu-Ti、Cu-Zn-Ti、Ti-Ni-Au等。

[0014] 进一步地,所述的微通道散热器为全金刚石材质的,散热器厚度尺寸在4~8mm。

[0015] 进一步地,所述的全金刚石微通道的流动路径为歧管式,截面形状为矩形,通过内部歧管式微流体路径设计,打破流体流动的速度边界层和热边界层,促进冷热流体混合,增强了换热,大大增加换热面积及冷热流体混合。

[0016] 进一步地,通过多次形核及动态调节沉积台高度的方法,获得高质量金刚石厚膜,厚度为3~5mm,加工完后金刚石板厚度等于1~3mm。

[0017] 进一步地,步骤2)机械研磨方式是要将其表面粗糙度减至粗糙度为0.1~2 μ m,同

时CVD金刚石膜厚度均匀性 $\pm 10\%$ 以内。

[0018] 进一步地,分流基板和微槽基板加工是通过精确控制激光光斑大小、聚焦深度、光束汇聚角度、切割次数、切割速率及正反两面切割;以小范围调节激光光束的偏转角度来克服激光能量的高斯分布加工弊端,获得高深宽比矩形截面槽道结构形状。

[0019] 进一步地,所述金刚石板焊接面镀TiNi过渡层,实现焊接表面金属化,便于后续焊接。

[0020] 进一步地,所述金刚石板通过真空钎焊技术连接起来,焊接结合强度大且热阻小。

[0021] 进一步地,采用直流喷射CVD方法沉积金刚石厚膜,调整形核工艺,实现二次再形核,抑制大的柱状晶异常生长,同时随着金刚石膜不断沉积动态降低沉积台高度,提高金刚石膜晶粒致密度,从而保证金刚石厚膜高质量沉积,有效生长厚度达到3.5mm以上。

[0022] 至此实现了在金刚石厚膜基础上构建歧管式全金刚石微通道散热器,改善对高功率器件的散热能力。

[0023] 本发明的优点及积极效果:

[0024] 制备的金刚石膜厚度大、质量高,满足金刚石板材加工的要求;制备的歧管式全金刚石微槽道散热器既实现了金刚石扩热与高效传热,又增加了扰流,打破了流体速度边界层及热边界层,增强了换热能力。其换热能力强劲,封装性高,安全可靠,能够实现对高热流密度电子器件有效控温,特别是对于大功率通信及导航卫星、定向高能武器以及宽禁带半导体雷达等高功率先进设备上有着广阔的应用前景。

[0025] 1,采用生长过程中多次再形核技术及动态调整沉积台高度制备出3~5mm左右的金刚石厚膜,厚膜均匀致密,质量高。

[0026] 2,采用双面加工及动态调整激光角度定型金刚石板,获得具有高深宽比矩形截面微通道的金刚石板,尺寸精度高,形状好,便于歧管式全金刚石微通道散热器的构建。其中高深宽比的矩形结构,有效的增大了换热面积。

[0027] 3,金刚石自身的导热性能十分优异,其热导率可以达到2000W/m·k,远远高于其他散热材料,满足高功耗电子设备热排散的要求。

[0028] 4,歧管式的通道结构设计,能够实现流体分流和扰动,打破流体速度边界层和热边界层,增强微流道中冷热流体的混合,提高散热的效率,同时结合金刚石高热扩和微通道高换热,其换热能力高达KW/cm²以上。

[0029] 5,金刚石化学性质十分稳定,耐酸碱,耐腐蚀,因此金刚石微通道热沉使用的范围广泛,可以在各种极端条件下安全服役。且金刚石热膨胀系数小,性能安全可靠,受热不易变形,满足先进电子技术对封装散热材料的要求。

附图说明

[0030] 图1A示出歧管式全金刚石微通道散热器的封装盖板;

[0031] 图1B示出具有进水口及出水口的歧管式全金刚石微通道散热器的分流基板;

[0032] 图1C示出具有微通道结构的歧管式全金刚石微通道散热器的微通道基板;

[0033] 图1D示出连接有热源面的歧管式全金刚石微通道散热器封装底板;

[0034] 图1E示出歧管式全金刚石微通道散热器。

具体实施方式

[0035] 实施例一

[0036] 1. 使用直流等离子体喷射化学气相沉积装置在直径100mm,厚度50mm镀制Ti、Mo、Si、W复合过渡层的钼衬底上生长金刚石厚膜。用粒径0.5 μm 的金刚石研磨膏研磨衬底5min,丙酮冲洗2次。放入腔室中,设置沉积温度范围为850~950 $^{\circ}\text{C}$,Ar流量为4slm,H₂流量为7.8slm,CH₄流量为100sccm,每生长100h,将CH₄流量上调至130sccm,形核15min,随后关闭CH₄,保持H₂/Ar等离子体处理10min。然后再设置CH₄流量至120sccm继续生长100h。直至沉积时间为350h,同时在金刚石膜沉积阶段沉积台以15 $\mu\text{m}/\text{h}$ 的速率不断降低,始终保持沉积面与阳极间距离为20~21mm,最终获得厚度3~5mm的均匀致密金刚石厚膜。

[0037] 2. 使用研磨抛光机对金刚石膜表面研磨抛光,研磨抛光后厚度为1~2mm,表面粗糙度为0.1~2 μm 。采用80目金刚石砂轮盘以25rpm/s速度粗抛,随后更换160目金刚石砂轮盘以25rpm/s速度精抛,滴粉及滴水频率7秒/次。

[0038] 3. 使用激光切割器在金刚石厚膜上切割出尺寸10mm $\times$ 10mm的金刚石板,激光器的切割参数为:功率为80W,样品进给速度为150mm/min,切割次数10次。激光扫描路径为三段,分别为切割线、左移0.02mm和右移0.02mm。

[0039] 4. 进一步采用激光高能束流成型特定形状尺寸的金刚石分流基板和微通道基板。分流基板进水口宽度1mm,深度1mm;出水口宽度0.5mm,深度1mm;微通道基板通道宽度0.3mm,深1mm。切割参数:采用80w功率,100mm/min的扫掠速度,切割次数5次,通过Solidworkscam设定激光扫描路径,沿流体通道长度方向,间隔步长0.01mm,呈z字型,每扫掠循环一次将激光光束开口角度偏转1 $^{\circ}$,同样在其背面相同位置执行相同操作。最后,将样品酸洗以清除激光切割后表面留存的石墨以及其他杂质,获得金刚石分流基板和微槽基板。

[0040] 5. 使用高真空磁控溅射镀膜机JCP350在金刚石板连接面镀TiNi过渡层以增加金刚石的浸润性。TiNi过渡层中Ti可以与金刚石形成TiC增强结合力,Ni对所生成的碳化物有极好的粘结性同时又有较好的可焊接性,所以金刚石表面可选择TiNi为过渡层。真空抽至 4.0×10^{-4} Pa,基体加热至200 $^{\circ}\text{C}$,然后通Ar气至腔室压力为 3.6×10^{-1} Pa。镀Ti溅射功率为150W,自偏压320V,电压920V,电流180mA,加偏压90V,占空比70%。镀Ni溅射功率为200W,自偏压290V,电压1050V,电流210mA,加偏压30V,占空比70%。溅射10min至所需膜厚50nm。

[0041] 6. 采用真空钎焊技术实现金刚石封装盖板、分流基板、微槽基板和封装底板间的牢固连接。钎料是钎焊过程中在低于母材熔点的温度下熔化并填充钎缝间隙的金属或合金,焊件是依靠熔化的钎料凝固后连接起来的,因此,钎料选择在很大程度上决定了金刚石板间焊接质量,应用于金刚石焊接的钎料可选用Ti-Ni-Au。

[0042] 实施例二

[0043] 1. 选用直流等离子体喷射化学气相沉积装置在直径100mm石墨衬底上制备金刚石厚膜,采用粒径0.5 μm 的金刚石研磨膏研磨衬底5min,丙酮冲洗2次,随后烘干放入化学气相沉积系统中;采用直流喷射CVD技术在上述衬底表面制备金刚石厚膜。沉积工艺设置为:CH₄流量为120sccm,H₂流量为7.5slm,Ar流量为3.7,功率约22 kW,衬底温度约900 $^{\circ}\text{C}$ 。每生长120h,将CH₄流量上调50sccm,形核10min,随后关闭CH₄,保持H₂/Ar等离子体处理20min,然后再将CH₄流量降低30sccm继续生长。同时在金刚石膜沉积阶段沉积台以15 $\mu\text{m}/\text{h}$ 的速率降低,

保持沉积面与阳极间距离为20~21mm,直至沉积时间为400h,实际沉积厚度约为3~5mm;

[0044] 2.使用研磨抛光机对金刚石膜表面研磨抛光,研磨抛光后厚度为1~3mm。

[0045] 3.使用激光切割器在金刚石厚膜上切割出尺寸10mm×10mm的金刚石板。激光器的切割参数设置为:功率为80W,样品进给速度为150mm/min,切割次数10次。激光扫描路径为三段,分别为切割线、左移0.02mm和右移0.02mm。

[0046] 4.采用激光高能束流成型特定形状尺寸的金剛石分流基板和微槽基板,分流基板进水口宽度1mm,深度1mm;出水口宽度0.5mm,深度1mm;微通道基板通道宽度0.3mm,深1mm。切割参数:功率120W,样品进给速度为80mm/min,切割次数4次,通过Solidworkscam软件沿流体通道长度方向设定激光扫描路径,间隔步长为0.01mm,双面扫描成型中部有凸起的矩形结构微槽。采用功率10W,进给速度100mm/min,连续偏转激光角度,扫掠矩形槽内侧表面,去除凸起部分,每循环一次将激光光束角度偏转1°,待程序循环4次后切割完毕,同样在另一面相同位置执行相同操作。最后,将样品酸洗以清除激光切割后表面留存的石墨以及其他杂质,获得金刚石分流基板和微槽基板。

[0047] 5.使用高真空磁控溅射镀膜机JCP350在金刚石板连接面镀TiNi过渡层。

[0048] 采用真空钎焊技术实现具有金属化表面的金刚石封装盖板,分流基板,微槽基板和封装底板的牢固连接。

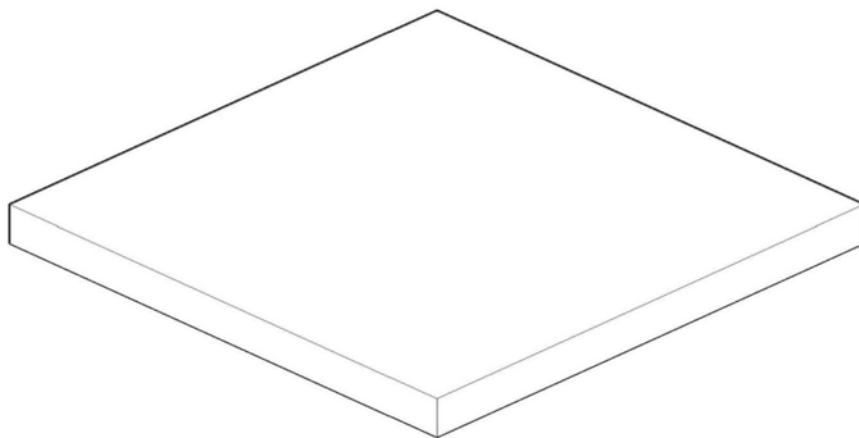


图1A

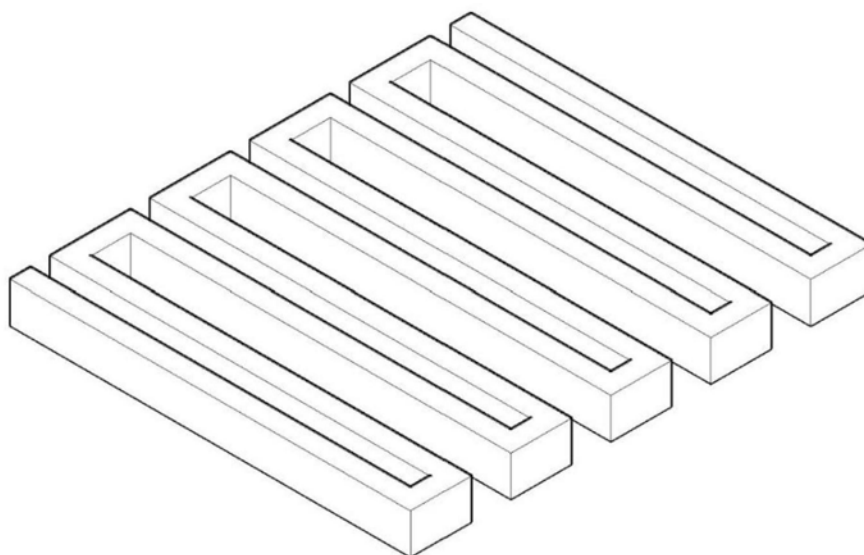


图1B

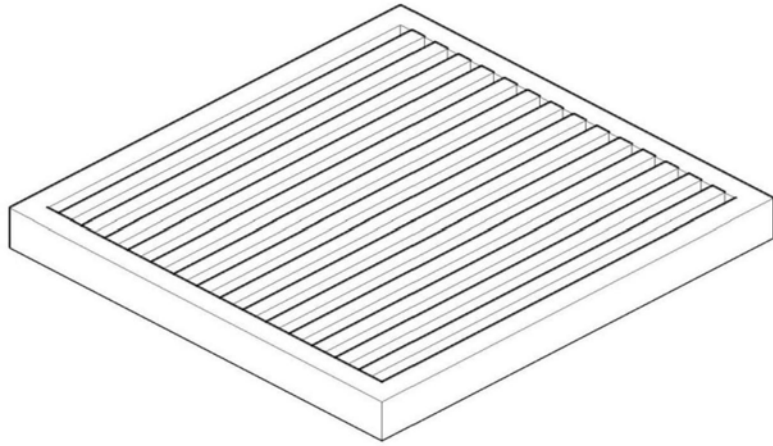


图1C

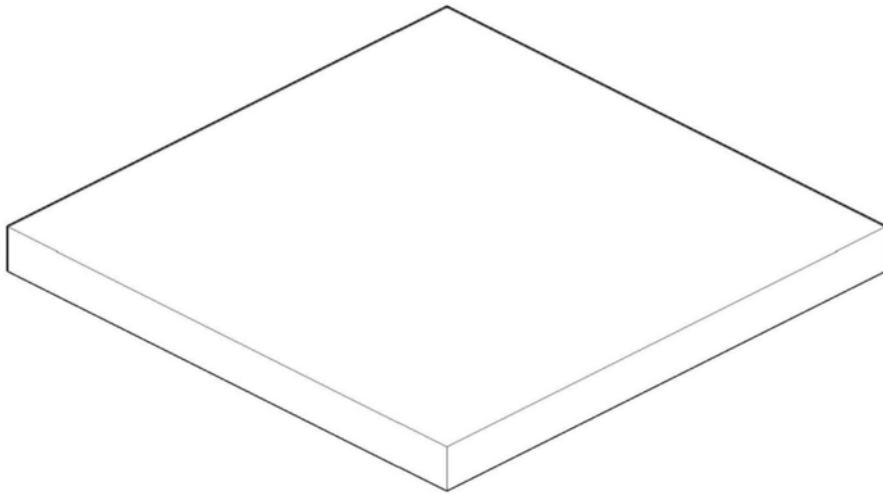


图1D

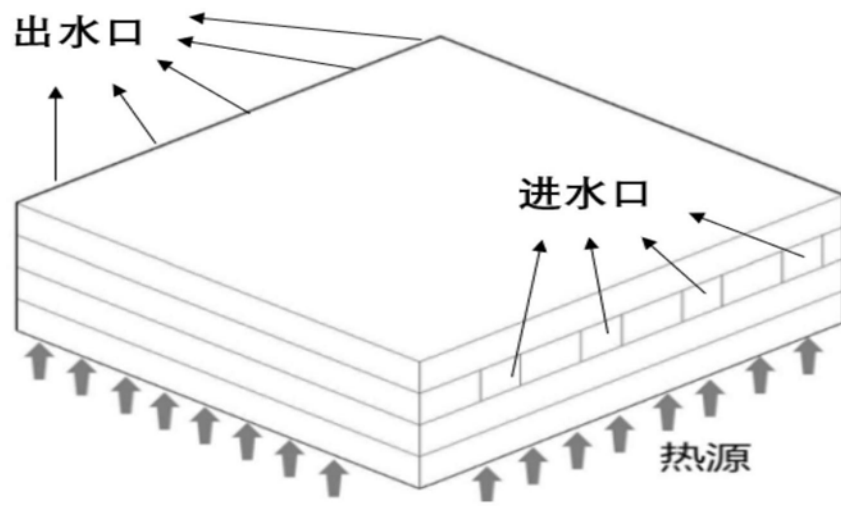


图1E