



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105264612 A
(43) 申请公布日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201480020844. 0
(22) 申请日 2014. 04. 10
(30) 优先权数据
61/811, 577 2013. 04. 12 US
13/904, 992 2013. 05. 29 US
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2015. 10. 12
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/033699 2014. 04. 10
(87) PCT国际申请的公布数据
WO2014/169152 EN 2014. 10. 16
(71) 申请人 西部数据技术公司
地址 美国加利福尼亚
(72) 发明人 R·A·马塔亚 T·坎贝尔
(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002
代理人 刘瑜 王英

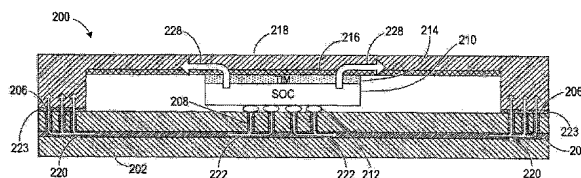
(51) Int. Cl.
G11C 16/02(2006. 01)
G11C 7/04(2006. 01)

权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称
固态驱动器的热管理

(57) 摘要

一种包括印刷电路板 (PCB) 的电子设备, 其包括导热平面和至少一个安装在所述 PCB 上并连接到所述导热平面的热生成部件。框架连接到所述 PCB 以便在所述框架的至少一部分与所述至少一个热生成部件之间定义第一导热路径。电子设备进一步包括至少一个在所述框架和所述至少一个热生成部件之间的导热层, 以便在所述框架的至少一部分与所述至少一个热生成部件之间定义第二导热路径。



1. 一种电子设备,包括:
印刷电路板 (PCB),其包括导热平面;
至少一个热生成部件,其被安装在所述 PCB 上,并且连接到所述导热平面;
框架,其连接到所述 PCB,以便在所述框架的至少一部分与所述至少一个热生成部件之间定义第一导热路径;以及
至少一个导热层,其在所述框架与所述至少一个热生成部件之间,以便在所述框架的至少一部分与所述至少一个热生成部件之间定义第二导热路径。
2. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述至少一个导热层包括石墨烯层。
3. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述至少一个热生成部件包括第一热生成部件和第二热生成部件,
其中,所述至少一个导热层包括在所述框架与所述第一热生成部件之间的第一导热层以及在所述框架与所述第二热生成部件之间的第二导热层,并且
其中,所述第一导热层不直接接触所述第二导热层,以便减少所述第一热生成部件与所述第二热生成部件之间的热传递。
4. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述 PCB 包括多个平面,并且所述导热平面基于所述导热平面的位置、所述导热平面的尺寸、和 / 或所述导热平面的材料成分而被预先处置以用于导热。
5. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述导热平面是跨所述导热平面的全部长度不连续的,以便在所述导热平面中引导热传递。
6. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述框架包括第一部和第二部,并且所述电子设备进一步包括在所述框架的所述第一部和所述第二部之间的至少一个石墨烯层。
7. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述 PCB 安装在所述框架上,并且所述电子设备进一步包括在所述 PCB 和所述框架之间的至少一个石墨烯层。
8. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述框架包括外部突出物,其增加从所述电子设备的热消散。
9. 根据权利要求 1 所述的电子设备,进一步包括附贴到所述框架的导热标识,所述标识被配置为指示所述电子设备的特性并且消散来自所述电子设备的热量。
10. 根据权利要求 9 所述的电子设备,其中,所述导热标识包括铝。
11. 根据权利要求 9 所述的电子设备,其中,所述导热标识包括导热胶粘剂。
12. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述框架的外部的至少一部分被蚀刻,以从所述框架移除涂层。
13. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述框架包括凸起部,其容纳所述设备中的、延伸超过所述框架没有凸起的部分的部件。
14. 根据权利要求 13 所述的电子设备,其中,所述凸起部包括斜坡,其减少所述凸起部上流体流动的紊流。
15. 根据权利要求 1 所述的电子设备,其中,所述电子设备是用于存储数据的固态驱动器。

固态驱动器的热管理

背景技术

[0001] 固态驱动器 (SSD) 是数据存储设备的一种类型,其使用非易失性固态存储器来存储数据,如闪存存储器。随着 SSD 性能要求的增长,功率需求普遍增长。此外,SSD 的物理尺寸需求通常保持相同或变得更小。

[0002] 功率需求的增长而不相应增加物理尺寸,导致了要从 SSD 消散更多热量的挑战。此外,SSD 的新标准规定 SSD 上减少的气流和更高的环境温度,这进一步阻碍热量的消散。

附图说明

[0003] 根据下文结合附图时阐述的详细描述,本公开的实施例的特征和优点将变得更加显而易见。提供附图和相关的描述是为了说明本公开的实施例而不是要限制要求保护的范

[0004] 图 1 是根据实施例的固态驱动器 (SSD) 的截面图。

[0005] 图 2 是根据实施例的 SSD 的截面图。

[0006] 图 3 是根据实施例的 SSD 的截面图。

[0007] 图 4A 提供了根据实施例的 SSD 的外部的顶视图。

[0008] 图 4B 提供了根据实施例的图 4A 的 SSD 的外部的侧视图。

[0009] 图 5A 提供了根据实施例的 SSD 的外部的顶视图。

[0010] 图 5B 提供了根据实施例的图 5A 的 SSD 的外部的侧视图。

[0011] 图 5C 提供了根据实施例的图 5A 和 5B 的 SSD 的外部的不同的侧视图。

[0012] 图 6A 提供了根据实施例的 SSD 的外部的顶视图。

[0013] 图 6B 提供了根据实施例的图 6A 的 SSD 的外部的侧视图。

[0014] 图 6C 提供了根据实施例的图 6A 和 6B 的 SSD 的外部的不同的侧视图。

具体实施方式

[0015] 在下面的详细描述中,阐述了大量具体细节以提供对本公开的全面理解。然而,对于本领域普通技术人员来说将显而易见的是,所公开的各种实施例可以在没有这些具体细节中的一些的情况下实施。在其它实例中,公知的结构和技术没有详细示出,是为了避免不必要地使各个实施例难以理解。

[0016] 图 1 是根据一个实施例的固态驱动器 (SSD) 100 的截面图。如将由那些本领域普通技术人员意识到的那样,图 1 至 3 的截面图并未按比例绘制以提供对本公开更加清晰的理解。

[0017] 如图 1 所示,SSD 100 包括具有上框部 118 和下框部 142 的框架,其具有印刷电路板 (PCB) 102 安装在下框部 142 中或下框部 142 上。调整上框部 118 和下框部 142 的尺寸以符合针对 SSD 100 的特定形状因子 (form factor),如 2.5 英寸的形状因数。框部 118 和 142 可由导热材料构成以将热量从 SSD 100 消散。这样的框架材料可以包括,例如,铝合金,诸如具有 167W/mK 导热率的 6061-T6。

[0018] 片上系统 (SOC) 110 与 DDR 104 和闪速存储器 108 和 114 一起安装在 PCB 102 的底侧。如图 1 所示, DDR 113 和闪速存储器 106 和 116 安装在 PCB 102 的顶侧。尽管图 1 中示出了热生成部件的一种布置,但那些本领域普通技术人员将会意识到本公开并不限于 PCB 102 上的部件的具体数量或特定布置。例如,其它实施例可以包括图 1 所示部件的更多或更少安装在 PCB 102 的单侧。

[0019] SOC 110 是能够充当用于管理 SSD 100 中的数据的控制器的集成电路 (IC)。DDR 113 和 104 是提供用于存储数据的易失性存储器的 IC。DDR 113 和 104 可以包括,例如,双倍数据速率同步动态随机存取存储器 (DDR SDRAM),如 DDR SDRAM, DDR2 SDRAM, 或 DDR3 SDRAM。

[0020] 在图 1 的示例中,闪速存储器 106, 108, 120 和 122 提供用于存储数据的非易失性存储器 (NVM), 并且可以包括,例如, NAND 闪速存储器。尽管图 1 的示例包括闪速存储器,但其它实施例可以包括任意类型的固态存储器。在这点上,这样的固态存储器可包括各种类型的存储设备中的一个或多个,如硫系 RAM (C-RAM), 相变存储器 (PC-RAM 或 PRAM), 可编程金属化单元 RAM (PMC-RAM 或 PMCm), 双向通用存储器 (OUM), 阻变 RAM (RRAM), NAND 存储器 (例如, 单层单元 (SLC) 存储器, 多层单元 (MLC) 存储器, 或其任意组合), NOR 存储器, EEPROM, 铁电存储器 (FeRAM), 磁阻 RAM (MRAM), 其它分立的 NVM 芯片, 或其任意组合。

[0021] SSD 100 还包括热界面材料 (TIM) 层 112, 114, 116, 117 和 119, 其在一侧的框部与另一侧的安装在 PCB 102 上的部件之间提供导热层。TIM 层 112, 114, 116, 117 和 119 可以包括用于导热的本领域已知的任意热界面材料或材料的组合, 诸如相变金属合金 (PCMA), 石墨烯, 或硅基材料。在一个示例中, TIM 层 112, 114, 116, 117 和 119 可在通过 TIM 层的特定方向上具有 1 至 6W/mK 的导热率。此外, TIM 层可以包括柔性材料或导热油脂以通过填充由于框部 118 和 142 上以及安装在 PCB 102 上的部件上的表面不完整而产生的气隙来改善导热率。

[0022] 如图 1 所示, 沿着下框部 142 的内表面的 TIM 层 112 通过可以包括空气的间隙 115 与 TIM 层 117 分离 (即, 没有直接接触)。分离 TIM 层的一个原因是减少 SSD 100 中的较高的热生成部件向其它部件的热传递。在图 1 的示例中, TIM 层 112 与 TIM 层 117 分离以减少从 SOC 110 向 DDR 104 以及闪速存储器 108 和 114 的热传递, 这是因为这些部件易受过热的影响。此外, SOC 110 通常比 DDR 104 以及闪速存储器 108 和 114 显著地产生更多的热量。例如, 当使用外围部件互连交换 (PCIe) 标准时, 相比于 DDR 104 和 113 产生的近似 300 毫瓦特以及闪速存储器 106, 108, 120 和 122 产生的近似 500 毫瓦特, SOC 110 可以产生 2 到 8 瓦特。因此分离 TIM 层 112 和 117 以防止热量从 SOC 110 传输至 SSD 100 的其它部件。

[0023] 此外, 沿着下框部 142 的内表面的 TIM 层 114 和 117 通过间隙 105 彼此分离, 以减少可另外在 DDR 104 与闪速存储器 108 和 122 之间传导的热量。类似地, 沿着上框部 118 的内表面的 TIM 层 116 和 119 通过间隙 107 彼此分离。

[0024] 图 1 的示例还包括在上框部 118 与下框部 142 之间的石墨烯层 123 (即, 石墨片), 其充当散热器以及在上框部 118 与下框部 142 之间的导热层。石墨烯层 123 通常实现上框部 118 与下框部 142 之间更好的热传递。由于石墨烯的高导热率 (在平行的 x-y 平面大约 1500 瓦特 / 米 - 开尔文, 而在垂直的 z 平面大约 15 瓦特 / 米 - 开尔文), 其还可用在 TIM

层 112, 114, 116, 117 和 119 中。

[0025] 在其它实施例中, 可以省略石墨烯层 123 以使得框部 118 和 142 彼此直接接触。在另外的其它实施例中, 可以利用不同类型的导热层来替换石墨烯层 123, 如导热油脂。

[0026] 图 2 示出了根据实施例的 SSD 200 的部分截面图。如图 2 所示, SSD 200 包括安装在 PCB 202 上的框架 218。SOC 210 经由焊锡球 212 也安装在 PCB 202 上。PCB 202 包括平面 204, 其充当 SOC 210 一侧上的导热层。平面 204 可以包括铜, 并且还可充当电导体, 以用于提供接地或用于在安装在 PCB 202 上的诸如 SOC 210 之类的部件与存储器部件 (未示出) 之间传输信号。另一方面, 平面 204 可以是专用的导热平面, 以便将热量直接从 SOC 210 传输至框架 218, 而不连接到 PCB 202 上的其它部件。

[0027] 如那些本领域普通技术人员所理解的, PCB 202 可以包括多个平面。某些平面, 如平面 204, 可通过比其它平面更厚和 / 或使用比其它平面中的材料具有更重的重量和 / 或具有更高导热率的材料 (例如, 铜) 而被预先处置以用于导热。此外, 这样的导热平面位于更接近 PCB 202 的外表面处以便更好地改善热传递。

[0028] 如图 2 所示, SOC 210 通过球 212 和孔 208 (如, 微孔) 连接至平面 204。球 212 可以是球栅阵列 (BGA) 的一部分以用于将 SOC 210 安装在 PCB 202 上。那些本领域普通技术人员应当理解, 图 2 中球和孔的数量是用于示例性目的, 并且球和孔的实际数量可以不同, 而不脱离本公开的范围。

[0029] 孔 206 通过石墨烯层 223 提供了从平面 204 到框架 218 的导热路径。在图 2 的示例中, 框架 218 连接至 PCB 202 以便在框架和 SOC 210 之间定义第一导热路径。第一导热路径使用箭头 222 和 220 示出, 其表示热量从 SOC 210 通过球 212, 孔 208, 平面 204, 孔 206 和石墨烯层 223 吸取到框架 218。如上所述的导热平面, 某些孔, 诸如孔 206 和 / 或孔 208, 可以通过比其它孔更厚和 / 或使用比其它孔中的材料具有更重的重量和 / 或具有更高导热率的材料 (例如, 铜) 而被预先处置以用于导热。此外, 可以设置这样的导热孔以便更好地改善热传递。

[0030] 在 SOC 210 的相对侧, TIM 214 位于 SOC 210 和石墨烯层 216 之间, 以便在框架 218 和 SOC 210 之间定义第二导热路径。在一个实施例中, 通过具有两个用于 SOC 210 的导热路径, 增加从 SOC 210 到框架 218 的热量吸取通常是可能的, 在框架 218 中来自 SSD 200 的热量可从框架 218 的外部消散。

[0031] 第二导热路径使用箭头 228 示出, 其表示热量从 SOC 210 通过 TIM 层 214 和石墨烯层 216 吸取到框架 218。因为石墨烯层 216 沿着框架 218 的长度延伸, 因此石墨烯层 216 在框架 218 的内表面上扩散热量以增加传输至框架 218 的热量。

[0032] TIM 层 214 可以包括任意热界面材料或现有技术中已知的用于导热的材料的组合, 如相变金属合金 (PCMA), 石墨烯, 或硅基材料。此外, TIM 层 214 可以包括柔性材料或导热油脂以通过填充由于 SOC 210 上的表面不完整而产生的气隙来改善导热率。在其它实施例中, 可从第二导热路径省略 TIM 层 214 或石墨烯层 216, 以使得 SOC 210 和框架 218 之间的导热层仅包括石墨烯层 216 或 TIM 层 214。

[0033] 图 3 示出了根据实施例的 SSD 300 的部分截面图。如图 3 所示, SSD 300 包括安装在 PCB 302 上的上框部 318 和下框部 342。SOC 310 和闪存存储器 309 通过焊锡球 312 也安装在 PCB 302 的底侧上。

[0034] PCB 302 包括平面 304, 其充当闪速存储器 309 和 SOC 310 的一侧上的导热层。平面 304 可以包括铜, 并且还可以充当电导体, 以用于提供接地或用于在安装在 PCB 302 上的其它部件之间传输信号。

[0035] 如那些本领域普通技术人员所理解的, PCB 302 可以包括多个平面。在这点上, 某些平面, 诸如平面 304 可以如上参考图 2 所讨论的那样被预先处置以用于导热。此外, 这样的导热平面可以位于更加靠近 PCB 302 的外表面以便更好地改善热传递。

[0036] 如图 3 所示, 平面 304 包括中断 321, 以使得平面 304 是没有连续跨过其全部长度的。诸如中断 321 的中断可用于引导和 / 或减少从诸如 SOC 310 的高热部件到诸如闪速存储器 309 的低热部件的热传递。其它实施例还可在 PCB 302 内包括多个专用的导热平面, 以引导和 / 或减少安装在 PCB 302 上的部件之间的热传递。

[0037] 如图 3 所示, 闪速存储器 309 和 SOC 310 通过球 312 和孔 308 连接至平面 304。在图 3 的示例中, 上框 318 和下框 342 连接至 PCB 302, 以便在框架和 SOC 310 之间定义导热路径。

[0038] 从闪速存储器 309 到框架存在两个导热路径。自闪速存储器 309 的第一导热路径使用箭头 320 和 324 示出, 其表示热量从闪速存储器 309 通过球 312, 孔 308, 平面 304, 孔 306 和石墨烯层 323 吸取到框部 318 和 342。如上参考图 2 所述, 孔 306 和 308 可以通过比其它孔更厚和 / 或使用比其它孔中的材料具有更重的重量和 / 或具有更高导热率的材料 (例如, 铜) 而被预先处置以用于导热。此外, 可以设置这样的导热孔以便更好地改善热传递。

[0039] 自闪速存储器 309 的第二导热路径使用箭头 330 示出, 其表示热量从闪速存储器 309 通过 TIM 层 313 和石墨烯层 315 吸取到下框部 342。如上所述, 通过具有针对热生成部件的两个导热路径, 增加从热生成部件到框架的热量吸取通常是可能的, 其中热量可从 SSD 300 消散。

[0040] 除了平面 304 中的中断 321 之外, 图 3 示出了 TIM 层 313 和 314 之间以及石墨烯层 315 和 316 之间的间隙 317。间隙 317 可以包括气体以减少闪速存储器 309 与 SOC 310 之间的导热。此外, 石墨烯层 315 和 316 从间隙 317 向相反的方向延伸, 由于沿着石墨烯层 315 和 316 的长度的高导热率, 这进一步从间隙 317 引导热量。

[0041] 如闪速存储器 309 那样, 从 SOC 310 到框架存在两个导热路径。自 SOC 310 的第一导热路径使用箭头 316 和 322 示出, 其表示热量从 SOC 310 通过球 312, 孔 308, 平面 304, 孔 306 和石墨烯层 323 吸取到框部 318 和 342。如上参考图 2 所述, 孔 306 和 308 可以通过比其它孔更厚和 / 或使用比其它孔中的材料具有更重的重量和 / 或具有更高导热率的材料 (例如, 铜) 而被预先处置以用于导热。此外, 可以设置这样的导热孔以便更好地改善热传递。

[0042] 自 SOC 310 的第二导热路径使用箭头 328 示出, 其表示热量从 SOC 310 通过 TIM 层 314 和石墨烯层 316 吸取到下框部 342。如上所述, 通过具有用于热生成部件的两个导热路径, 增加从热生成部件到框架的热量吸取通常是可能的, 其中热量可从 SSD 300 消散。

[0043] 在图 3 的示例中, 上框部 318 包括外部突出物, 诸如散热片 334 和 336, 其具有不同的形状以改善 SSD 300 上的流体流动, 用于对流冷却。外部突出物的形状和尺寸可以基于不同设计考虑而改变。如下面参考图 4 至 6 更加详细描述, 框架上的外部突出物通常利

用外部流体（例如，空气，氦气）通过增加框架的表面面积和 / 或通过增加散热材料添加至框架而改善热传递。

[0044] 图 4A 和 4B 提供了根据实施例的 SSD 400 的外部的顶视图和侧视图。SSD 400 包括具有诸如散热片 434 和 436 的外部突出物的上框部 420（即，顶盖），这些外部突出物定义在外部突出物之间的通道。外部突出物通常通过增加框架的外表面面积来改善从 SSD 400 至诸如空气或氦气之类的周围流体的热传递。

[0045] 在图 4A 和 4B 的示例中，流体流过 SSD 400 以提供对流冷却。此外，当流体不流过 SSD 400 时，外部突出物的其它表面面积增加了从 SSD 400 的热消散。外部突出物还向框架增加重量以用于散热。

[0046] 尽管图 4A 和 4B 中的外部框架突出物被描述为具有矩形的散热片，但其它实施例可以包括具有不同形状的外部突出物，诸如圆柱形（即，销）以增加框架的表面面积和 / 或质量。

[0047] 上框部 420 和 / 或下框部 418 可以被蚀刻以便将否则会阻碍导热的涂层从框架移除。具体地，SSD 400 可以在 SSD 400 所安装的具体位置处被蚀刻以便从 SSD 400 的外部提供导热路径。可以利用对表面涂层的蚀刻激光或化学移除来实施这样的蚀刻。

[0048] 如图 4A 和 4B 所示，SSD 400 包括凸起部 440，其为放置导热标识 438 提供区域。标识可被提供为用于在数据存储设备外部指示其特性的标准的一部分。导热标识 438 可由铝或其它具有相对高（非绝缘）导热率的材料制成以便在该区域中消散来自 SSD 400 的热量，否则使用常规标识该区域可能无法消散很多热量。标识 438 还可以包括导热胶粘剂以用于将标识 438 粘附至 SSD 400 同时允许热消散。

[0049] 凸起部 440 还用于容纳在 SSD 400 中其他不能符合在上框部 420 下方的部件。通过将较高的部件容纳在凸起部 440 的下方，外部突出物可被添加至围绕凸起部 440 的区域，而不会增加 SSD 400 的整体高度。在这点上，凸起部 440 还可用于将堆叠的 PCB 容纳在 SSD 400 中以实现 SSD 400 较小的覆盖区，同时允许针对外部突出物的空间在针对 SSD 400 的整体高度规范之内。

[0050] 如图 4A 和 4B 所示，凸起部 440 包括在其右侧的斜坡 442 以便减少流体流过凸起部 440 时的紊流。斜坡 442 包括位于其顶部表面上的外部突出物，并且可以被定位以接收来自特定方向的流动，诸如来自 SSD 400 外部的风扇（未示出）。在图 4A 和 4B 中，流体从 SSD 400 的右侧流向 SSD 400 的左侧。其它实施例可以包括对框部（诸如下框部 418 和上框部 420）的其它变型，以便增加 SSD 400 上方的流体流动并由此增加了对 SSD 400 的对流冷却。

[0051] 图 5A, 5B 和 5C 提供了根据实施例的 SSD 500 外部的顶视图和侧视图。SSD 500 包括诸如散热片 534 和 536 的外部突出物，其定义了散热片之间的上框部 520 上的通道。相比于 SSD 400 的散热片，SSD 500 的散热片在 SSD 500 上方流体流动的方向上更长。SSD 500 的更长的散热片通常会减少紊流并增加 SSD 500 上方的流体流动以增加从 SSD 500 的热消散。

[0052] SSD 500 还包括下框部 518、导热标识 538、凸起部 540、和斜坡 542。如图 5A 所示，诸如散热片 536 的外部突出物切入斜坡 542 中。如图 4A 和 4B 的 SSD 400 那样，SSD 500 的框架也可以被蚀刻以便从框架移除可能阻碍导热的涂层。

[0053] 图 6A, 6B 和 6C 提供了根据实施例的 SSD 600 外部的顶视图和侧视图。SSD 600 包括诸如散热片 634, 636 和 642 的外部突出物, 其定义了散热片之间的上框部 620 上的通道。不同于 SSD 500, SSD 600 的外部突出物在两个方向上定义通道。尽管 SSD 600 的散热片在 SSD 600 上方流体流动的方向上更长, 但沿散热片宽度提供的通道会增加上框部 620 的表面面积和 / 或在第二方向上改善来自流体流动的对流冷却。

[0054] 如图 6A, 6B 和 6C 所示, SSD 600 还包括下框部 618、凸起部 640、和导热标识 638。

[0055] 提供了所公开的示例性实施例的上述描述使任意本领域的普通技术人员能够制造或使用本公开中的实施例。对这些示例的各种变型对于那些本领域的普通技术人员来说将是非常显而易见的, 并且本文所公开的原理可被应用于其它示例中而不脱离本公开的精神或范围。所描述的实施例在全部方面被认为仅是示例性的而非限制性的, 并且因此本公开的范围由下面的权利要求而非前面的描述来指定。所有落入权利要求的等同物的涵义和范围内的改变均包含在权利要求的范围内。

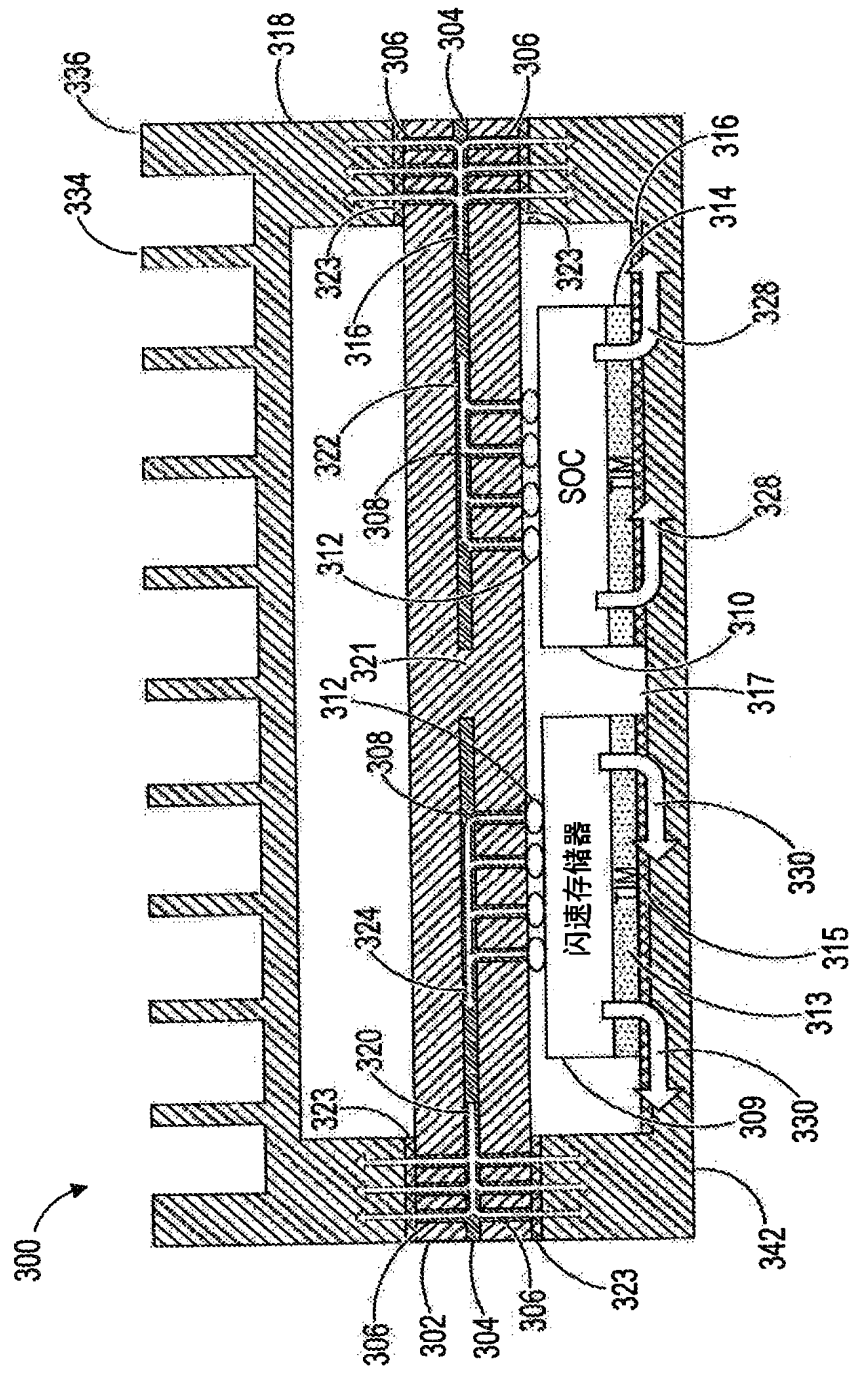


图 3

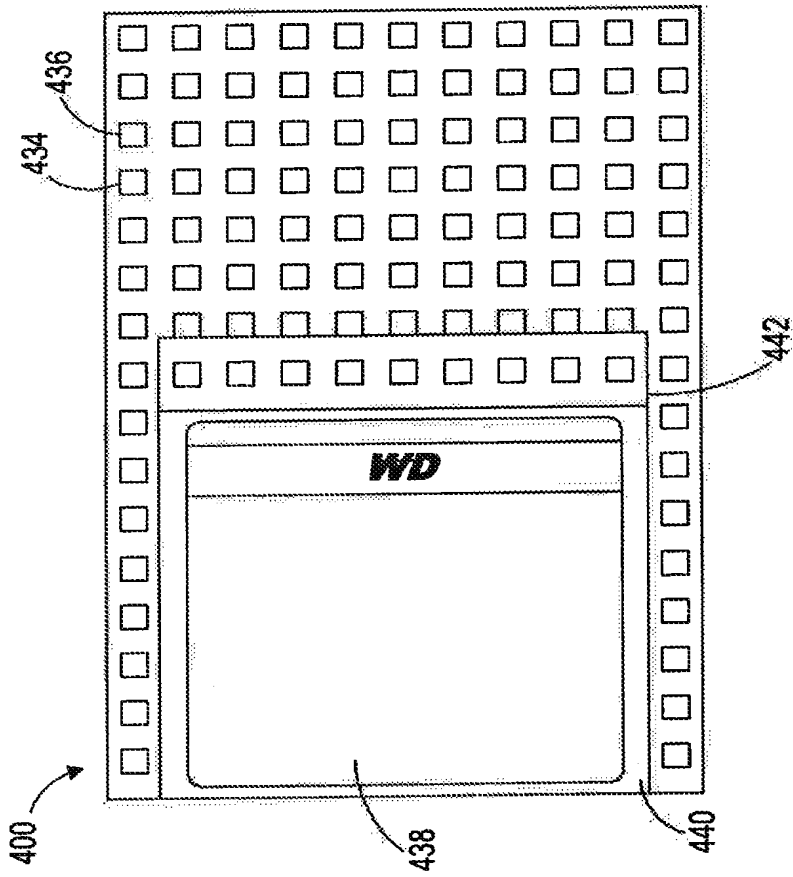


图 4A

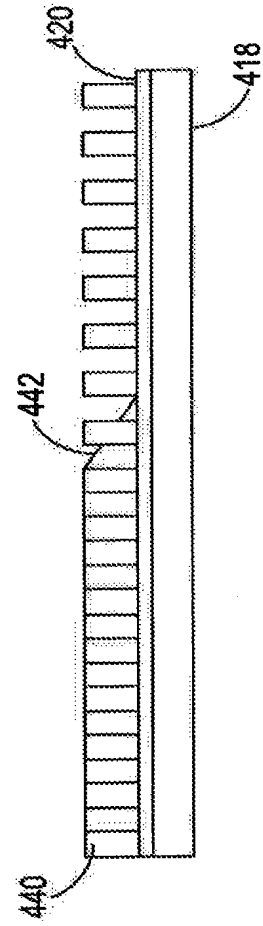


图 4B

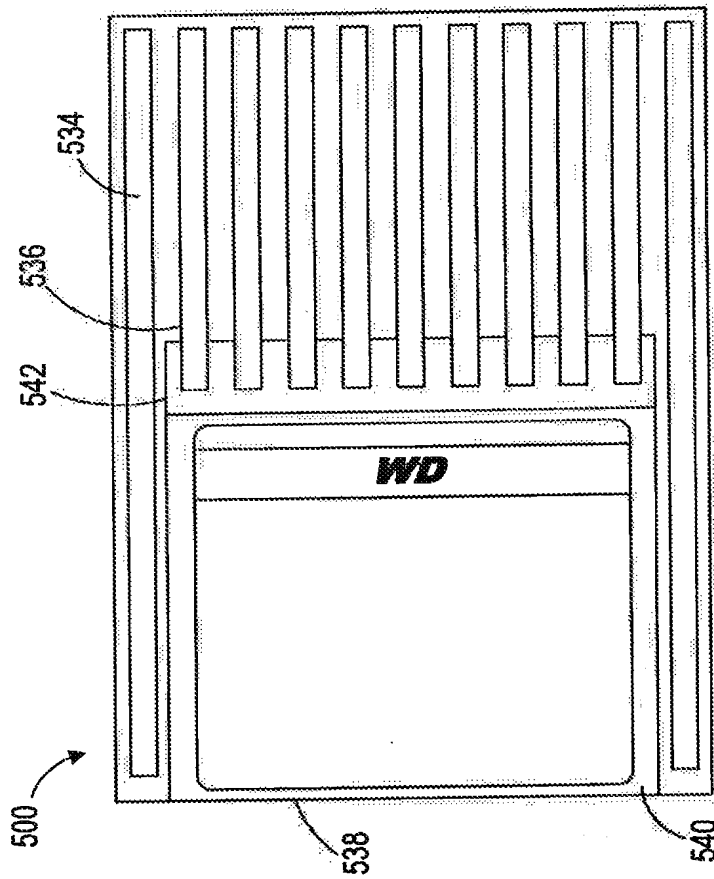


图 5A

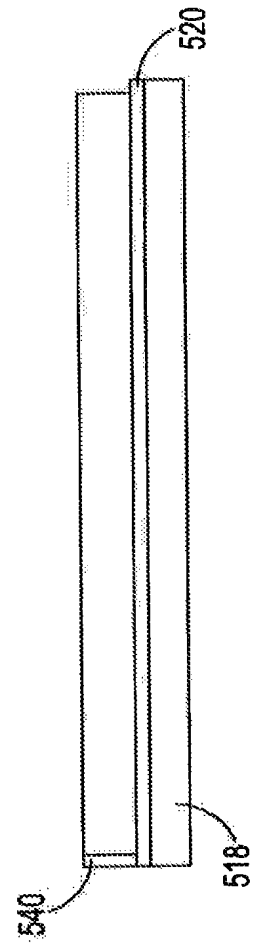


图 5B

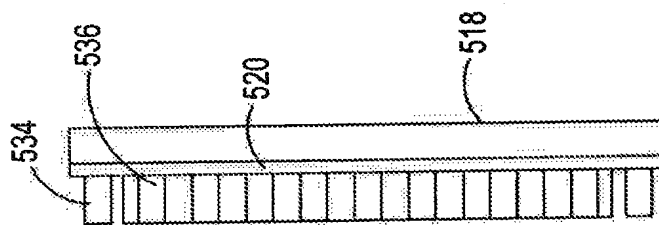


图 5C

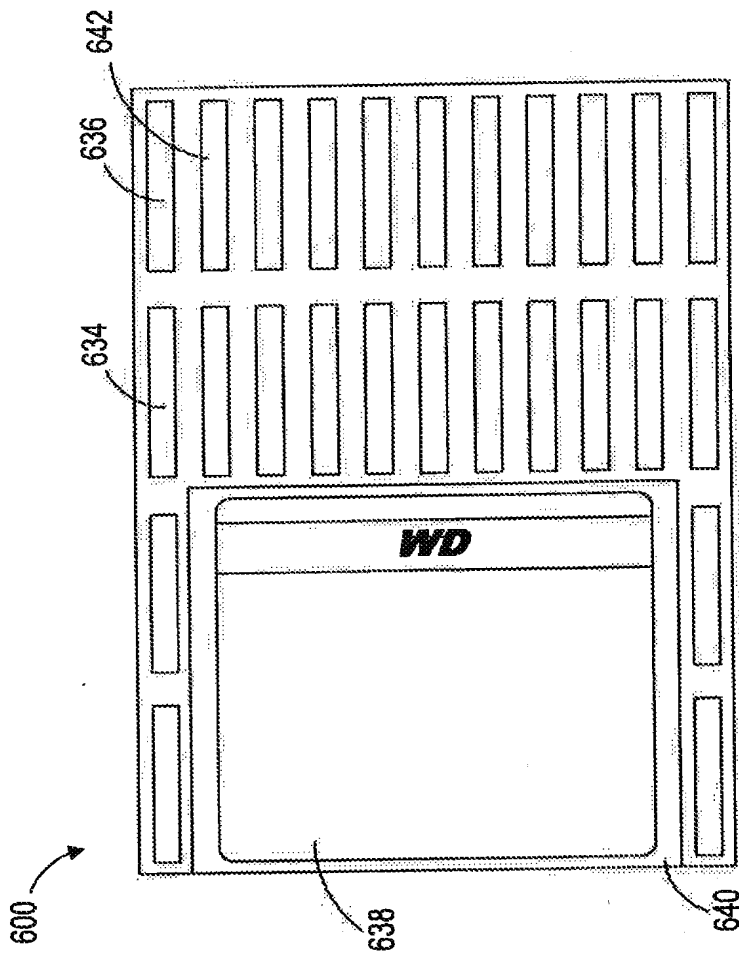


图 6A

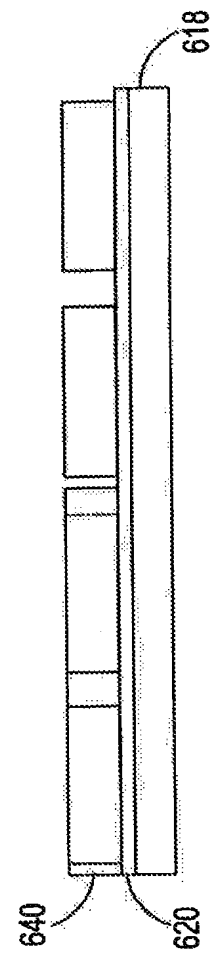


图 6B

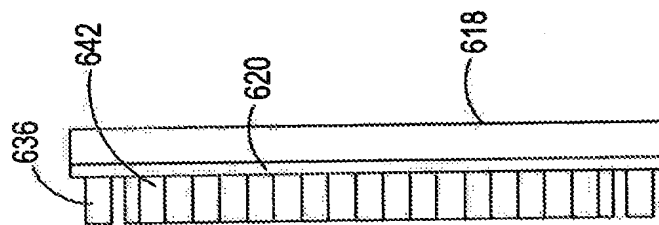


图 6C