



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114980652 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210089368.4

(22) 申请日 2022.01.25

(30) 优先权数据

17/185,681 2021.02.25 US

(71) 申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 D·P·库尔卡尼 N·阿户加

S·阿户加 T·M·盖茨

C·R·温克尔

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

专利代理师 黄嵩泉 李炜

(51) Int. Cl.

H05K 7/20 (2006.01)

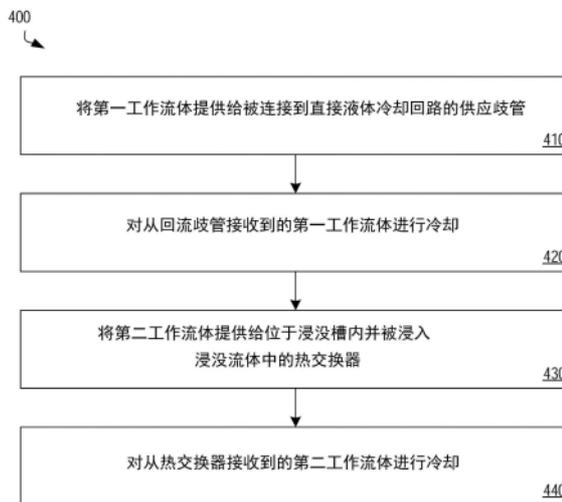
权利要求书3页 说明书16页 附图7页

(54) 发明名称

混合液体冷却

(57) 摘要

本发明涉及混合液体冷却。提供了用于对浸入开放式浴浸没槽中的集成电路组件进行冷却的两种液体冷却机制。在第一种机制中，由高热设计功率 (TDP) 组件生成的热量通过耦合至高 TDP 组件的冷却板的工作流体被吸收。冷却板是直接流体冷却回路的、被附接到流体地连接至冷却分配单元的供应歧管和回流歧管的一部分。在第二种机制中，不耦合至直接流体冷却回路中任一者的集成电路组件将热量直接地耗散到浸没流体。在一些实施例中，槽是封闭式浴浸没槽，并且由工作流体捕获的热量被回收并转化为电力。工作流体流速可以基于集成电路组件功耗水平来进行调节，以在其进入能量回收单元时达到所需的工作流体温度。



1. 一种设备,包括:

开放式浴浸没槽;

供应歧管,所述供应歧管连接至多个直接液体冷却回路;

回流歧管,所述回流歧管连接至所述直接液体冷却回路;

多个系统板,所述多个系统板位于所述开放式浴浸没槽内,所述系统板中的各个系统板包括:

一个或多个第一集成电路组件,所述一个或多个第一集成电路组件物理地耦合且热耦合至所述直接液体冷却回路中的一者;以及

一个或多个第二集成电路组件,所述一个或多个第二集成电路组件不物理地耦合且不热耦合至所述直接液体冷却回路中的任一者;以及热交换器,所述热交换器位于所述开放式浴浸没槽内。

2. 如权利要求1所述的设备,其特征在于,所述直接液体冷却回路中的各个直接液体冷却回路包括一个或多个冷却板,并且对于所述系统板中的各个系统板,所述第一集成电路组件热耦合至所述直接液体冷却回路中的一者的冷却板。

3. 如权利要求1或2所述的设备,其特征在于,所述开放式浴浸没槽至少部分地填充有浸没流体,并且所述系统板中的各个系统板的所述一个或多个第一集成电路组件和所述一个或多个第二集成电路组件被浸入所述浸没流体中。

4. 如权利要求1或2所述的设备,进一步包括位于所述开放式浴浸没槽内的单个泵。

5. 如权利要求1或2所述的设备,其特征在于,所述直接液体冷却回路经由快速断开配件连接到所述供应歧管和所述回流歧管。

6. 如权利要求1或2所述的设备,进一步包括位于所述开放式浴浸没槽内的附加系统板,所述附加系统板包括第三多个集成电路组件,所述第三多个集成电路组件包括附接到所述附加系统板的所有集成电路组件,其中所述第三多个集成电路组件中的任一集成电路组件都不热耦合且不物理地耦合至所述直接液体冷却回路中的任一者。

7. 一种系统,包括:

浸没槽;

供应歧管,所述供应歧管连接至多个直接液体冷却回路;

回流歧管,所述回流歧管连接至所述直接液体冷却回路;

多个系统板,所述多个系统板位于所述浸没槽内,所述系统板中的各个系统板包括:

一个或多个第一集成电路组件,所述一个或多个第一集成电路组件物理地耦合且热耦合至所述直接液体冷却回路中的一者;以及

一个或多个第二集成电路组件,所述一个或多个第二集成电路组件不物理地耦合且不热耦合至所述直接液体冷却回路中的任一者;

热交换器,所述热交换器位于所述浸没槽内;以及

冷却分配单元,所述冷却分配单元流体地耦合至所述供应歧管以将工作流体提供给所述直接液体冷却回路。

8. 如权利要求7所述的系统,其特征在于,所述直接液体冷却回路中的各个直接液体冷却回路包括一个或多个冷却板,并且对于所述系统板中的各个系统板,所述第一集成电路组件热耦合至所述直接液体冷却回路中的一者的冷却板。

9. 如权利要求7或8所述的系统,其特征在于,所述浸没槽是开放式浴浸没槽。

10. 如权利要求7或8所述的系统,其特征在于,被提供给所述直接液体冷却回路的所述工作流体是第一工作流体,并且所述冷却分配单元流体地耦合至所述热交换器以将第二工作流体提供给所述热交换器。

11. 如权利要求7或8所述的系统,其特征在于,被提供给所述直接液体冷却回路的所述工作流体是第一工作流体,并且其中所述热交换器从除所述冷却分配单元之外的源接收第二工作流体。

12. 如权利要求7或8所述的系统,其特征在于,所述工作流体是单相工作流体。

13. 如权利要求7或8所述的系统,其特征在于,所述工作流体是两相工作流体。

14. 如权利要求7或8所述的系统,其特征在于,所述浸没槽至少部分地填充有浸没流体。

15. 如权利要求14所述的系统,其特征在于,所述一个或多个第一集成电路组件、所述一个或多个第二集成电路组件、和所述热交换器被浸入所述浸没流体中。

16. 如权利要求14所述的系统,其特征在于,所述浸没流体是单相浸没流体。

17. 如权利要求14所述的系统,其特征在于:

所述浸没流体是两相浸没流体;

所述浸没槽是封闭式浴浸没槽;

所述回流歧管包括用于使浸没流体蒸汽冷凝的冷凝器;并且

所述系统进一步包括能量回收单元,所述能量回收单元流体地耦合至所述回流歧管和所述冷却分配单元以从所述回流歧管接收所述工作流体以将所述工作流体提供给所述冷却分配单元,所述能量回收单元用于将所述工作流体的热能转换为电力。

18. 如权利要求17所述的系统,其特征在于,所述冷却分配单元用于基于由所述系统板中的至少一者的所述第一集成电路组件消耗的功率量来进一步调节所述工作流体到所述供应歧管的流速。

19. 如权利要求17所述的系统,进一步包括:

气体入口,用于将加压的惰性气体提供给所述封闭式浴浸没槽;

气压传感器,位于所述封闭式浴浸没槽中,用于提供指示所述浸没流体上方的气压的气压传感器数据;以及

气压控制器,用于控制所述加压的惰性气体到所述封闭式浴浸没槽的流动以维持所述浸没流体上方的目标气压。

20. 如权利要求7所述的系统,其特征在于,所述冷却分配单元流体地连接至一个或多个附加供应歧管,以将所述工作流体提供给物理地耦合且热耦合至被附接到位于一个或多个附加浸没槽内的系统板的集成电路组件的一个或多个直接液体冷却回路。

21. 一种方法,包括:

将第一工作流体提供给供应歧管;

将从回流歧管接收到的所述第一工作流体进行冷却,所述供应歧管和所述回流歧管连接至多个直接液体冷却回路,所述多个直接液体冷却回路物理地耦合且热耦合至第一多个集成电路组件,所述第一多个集成电路组件被附接到位于浸没槽内的多个系统板,所述浸没槽至少部分地填充有浸没流体,所述第一多个集成电路组件被浸入所述浸没流体中,所

述第一工作流体由所述第一多个集成电路组件加热；

将第二工作流体提供给位于所述浸没槽内并且被浸入所述浸没流体中的热交换器；以及

将从所述热交换器接收到的所述第二工作流体进行冷却，第二多个集成电路组件位于所述浸没槽内并且被浸入所述浸没流体内，所述第二多个集成电路组件不物理地耦合且不热耦合至所述多个直接液体冷却回路。

22. 如权利要求21所述的方法，进一步包括：基于由所述系统板中的至少一者的所述第一多个集成电路组件所消耗的功率量来调节所述第一工作流体到所述供应歧管的流速。

23. 如权利要求21所述的方法，其特征在于，所述浸没槽是封闭式浴浸没槽，所述方法进一步包括：基于由气压传感器提供的、指示所述浸没流体上方的气压的气压传感器数据来调节加压的惰性气体到所述封闭式浴浸没槽中的流动。

24. 一种或多种非暂态计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述指令在被执行时使一个或多个集成电路组件执行如权利要求21-23中任一项所述的方法。

25. 一种系统，包括：

开放式浴浸没槽，所述开放式浴浸没槽至少部分地填充有浸没流体；

热交换器，所述热交换器位于所述开放式浴浸没槽内；

液体冷却装置，所述液体冷却装置用于：

为多个第一集成电路组件提供第一液体冷却机制，所述多个第一集成电路组件被附接到位于所述开放式浴浸没槽内的多个系统板；以及

为被附接到所述系统板的多个第二集成电路组件提供第二液体冷却机制，所述第一集成电路组件和所述第二集成电路组件被浸入所述浸没流体中。

混合液体冷却

背景技术

[0001] 在基于浸没浴的液体冷却系统中,集成电路组件被浸入用介电浸没流体填充的浸没槽中。集成电路组件通过将由组件生成的热量耗散到浸没流体中来进行冷却。在液体浸没冷却系统中可以使用两种类型的浸没槽——开放式浴和封闭式浴。在开放式浴系统中,浸没槽可以被覆盖或不被覆盖,并且在大气压力下操作。在封闭式浴系统中,浸没槽是密封的,并且因此浸没流体与环境隔绝。热交换器对浸没流体进行冷却。

[0002] 在直接液体冷却系统中,集成电路组件由工作流体进行冷却,工作流体流经耦合至集成电路组件的冷却板。泵使工作流体循环通过包括冷却板的直接液体冷却回路。由集成电路组件加热的工作流体由热交换器冷却。

附图说明

[0003] 图1是将各种液体冷却解决方案的特性进行比较的表格。

[0004] 图2A图示出用于对位于开放式浴浸没槽内的多个系统板进行冷却的混合液体冷却系统。

[0005] 图2B图示出图2A中的系统板中的一个系统板的前视图。

[0006] 图3是包括能量回收单元的示例混合液体冷却系统。

[0007] 图4是示例混合液体冷却方法的流程图。

[0008] 图5是可由混合液体冷却系统冷却、或可在混合液体计算系统中提供工作流体流速控制或气压控制的示例计算系统的框图。

[0009] 图6是可以执行作为实现本文中所描述的技术的部分的指令的示例性处理器单元的框图。

具体实施方式

[0010] 各种类型的处理器单元(诸如XPU(例如,中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU))、插入式卡和存储器的功耗正在代代增加。液体浸没冷却由于其高热捕获率,并且能实现低功率使用效率(PUE)、在腐蚀性的大气状况下的高组件可靠性、以及模块化和可扩展设计而正在成为用于高性能计算系统(诸如数据中心服务器)冷却的有吸引力的选项。边缘计算和5G蜂窝网络技术的出现进一步加速了液体浸没冷却的采用。

[0011] 液体浸没冷却(或浸没冷却)可被划分为两种一般方法——单相浸没冷却和两相浸没冷却。在这两种方法中,集成电路组件被浸入处于液态的浸没流体中之后,浸没流体被所浸入的组件加热。在单相浸没冷却中,浸没流体在预期的操作条件下被加热时保持其液态。在两相浸没冷却中,在浸没流体在预期的操作条件下被加热时,浸没流体的部分经历从液体到气体的相变。单相浸没冷却实现方式可以利用开放式浴浸没槽或封闭式浴浸没槽,并且两相浸没冷却实现方式利用封闭式浴浸没槽。

[0012] 如本文所用,短语“单相浸没流体”和“单相工作流体”分别指其在预期的操作条件下被加热时保持其液态的浸没流体和工作流体。如本文所用,短语“两相浸没流体”和“两相

工作流体”分别指其部分在预期的操作条件下预计会经历从液体到气体的相变的浸没流体和工作流体。

[0013] 如本文中所示使用,术语“操作”、“执行”或“运行”在其涉及与系统、设备、平台或资源有关的软件或固件时可互换地使用,并且可以指代存储在可由系统、设备、平台或资源访问的一种或多种计算机可读存储介质中的软件或固件,即使该软件或固件中所包含的指令并非正在被系统、设备、平台或资源活跃地执行。

[0014] 如本文所使用,术语“集成电路组件”是指经封装的或未经封装的集成电路产品。经封装的集成电路组件包括被安装在封装衬底上的一个或多个集成电路。在一个示例中,经封装的集成电路组件包含被安装在衬底上、包括焊料球栅阵列(BGA)的衬底外部侧上的一个或多个处理器单元。在未经封装的集成电路组件的一个示例中,单个单片集成电路管芯包括被附接到管芯上的触点的焊料凸块。焊料凸块允许管芯直接地附接到印刷电路板。集成电路组件可以包括本文所描述或所引用的任何计算系统组件中的一个或多个计算系统组件,任何计算系统组件诸如处理器单元(例如,芯片上系统(SoC)、处理器核、图形处理器单元(GPU)、加速器)、I/O控制器、芯片组处理器、存储器或网络接口控制器。

[0015] 虽然两相浸没冷却提供了良好的冷却性能,但两相浸没流体的高成本以及与在操作期间由于蒸汽损失而损失浸没流体相关联的成本限制了两相浸没冷却的采用。虽然单相浸没冷却可以避免浸没流体随时间的损失,但由于单相浸没流体具有较低的比热、较高的密度和较高的粘度,其冷却能力一般低于两相浸没冷却的冷却能力。

[0016] 在选择在浸没冷却实现方式中使用哪种浸没流体时可以考虑的浸没流体的两个参数是其可燃性和全球变暖潜势(GWP)数,其中较低的GWP数指示材料对全球变暖的贡献较小。一些合成的单相浸没流体(例如Novec液)具有良好的热性能,但也具有较高的GWP。由于全世界都在努力淘汰诸如氢氟碳化物之类的温室气体的使用,因此人们对尽可能使用非GWP或低GWP的材料(例如,具有GWP<1的材料)感兴趣。本文所公开的混合液体冷却技术可以使用不易燃和/或非GWP或低GWP流体为包括高性能集成电路组件的机架提供液体冷却。此类技术的使用可以帮助大型云服务提供商(CSP)、高性能计算(HPC)系统供应商、和可能开始越来越多地在其数据中心内依赖于浸没冷却以实现其宣称的环境可持续性(例如,碳中和、碳负值)目标的其他实体。

[0017] 存在各种液体浸没冷却方法,但它们可能遭受各种缺点。在第一种现有方法中,单相浸没流体被用来对被浸入开放式浴浸没槽中的集成电路组件进行冷却。被附接到集成电路组件的空气冷却散热器可以帮助将由集成电路组件生成的热量耗散到浸没流体中,该浸没流体是合成油,但是由于合成油的有限的热性能,此类系统可能无法充分地移除由高热设计功率(TDP)集成电路组件生成的大量的热量。

[0018] 在第二种现有方法中,单相浸没流体在封闭式机箱计算系统中被使用。单相浸没流体(其是矿物油或合成油)流入耦合至集成电路组件的冷却板,并溢出或从冷却板(例如,开放式销鳍片冷却板)上溢出,从而为系统板上的其他集成电路组件提供冷却。该第二种方法的缺点可能包括:使用低热性能浸没流体(矿物油或合成油)、需要封闭式机箱以防止浸没流体泄漏到机箱外部、需要机架拥有足够的机械强度以支撑填充流体的计算系统的附加重量、以及由封闭式机箱计算系统带来的可维修性和更换限制。

[0019] 在第三种现有方法中,封闭式机箱计算系统中的单相浸没流体通过以单独的直接

液体冷却回路来对高TDP集成电路组件进行冷却,从而冷却集成电路组件。该封闭式机箱系统包括专用泵和专用热交换器,以对浸没流体和直接液体冷却回路工作流体进行循环和冷却。直接液体冷却回路工作流体可以是单相工作流体,诸如水。该第三种解决方案的缺点可能包括第二种现有解决方案的缺点加上与为单个机箱配备专用泵和专用热交换器相关联的额外成本(例如,泵和热交换器的成本、支撑附加泵和热交换器重量的更坚固的机架的成本)。

[0020] 在第四种现有方法中,在封闭式浴浸没槽中使用两相浸没流体。该第四种方法的缺点可能包括:可能使用高GWP浸没流体;需要密封的机箱、浸没槽或机架以防止浸没流体蒸汽泄漏;如果使用易燃的两相浸没流体,则需要监管部门批准以及灭火能力的额外成本;由于在移除或插入机架级计算系统(例如,刀片、服务器、橇板)时可能损失浸没流体,引起可维修性和更换调整;以及两相浸没流体的高成本。两相浸没流体的高成本可能需要高密度的部署,这可能无法广泛支持标准的原始设备制造商(OEM)服务器设计,并可能将两相浸泡冷却液的使用限制在仅最大的CSP或大规模构建数据中心的其他实体。

[0021] 图1是将各种可用的冷却解决方案(单相和两相液体浸没、冷却板、利用降低的环境温度(例如27°C)的空气冷却、和混合液体冷却(本文公开的技术))的特性进行比较的表格。第1行列出了针对各个选项的高TDP冷却能力。若干选项可以为>500W的集成电路组件提供足够的冷却。本文所公开的技术可能有助于为具有大于500W的TDP的集成电路组件提供足够的冷却。第2行列出了进一步改善高TDP组件的液体冷却的可能性。第3行列出了每个选项的、用于冷却与>500W TDP的集成电路组件位于相同系统板上的双列直插存储器模块(DIMM)的冷却能力。第4行列出了每个选项的机架冷却估计。

[0022] 第5行列出了每种液体冷却方案的冷却剂选项。表中针对单相和两相液体冷却实现方式所示出的特性是针对分别使用FC-40和FC-3284浸没流体的那些实现方式。具有类似特性(例如冷却剂成本、组件和机架冷却能力)的其他浸没流体也可以在单相和两相液体浸没冷却实现方式中使用。聚 α -烯烷基(PAO基)流体可用作本文所公开的混合液体冷却技术中的浸没流体。第5行中的“PG水”是指混有丙二醇的水。第6行列出了冷却剂成本。在单相和两相浸入式冷却选项中使用的FC-40和FC-3284浸没流体比可在混合液体冷却解决方案中使用的PAO基浸没流体要昂贵得多。第7行列出了用于数据中心冷却的每个选项所依赖的冷却机制(空气、水)。第8行列出了组件生成的、可被冷却液捕获的热量的百分比。第9行列出了为每个冷却选项提供泵和/或风扇功率的运营费用水平。液体冷却选项具有与对直接液体冷却回路和冷却选项中的浸没流体或工作流体加以循环的泵进行供电有关的运营费用,其中,空气冷却组件具有与使空气循环的正在运转的风扇相关联的运营费用。第10行列出了是否需要冷却分配单元(CDU)。

[0023] 第11行和第12行列出了针对每个冷却选项的环境考虑因素。单相和两相浸入式冷却选项利用高GWP浸没流体,而混合液体冷却选项使用非GWP或低GWP浸没流体。第13行列出了针对每个选项的验证要求。验证浸没流体与集成电路组件是兼容的是对包括液体冷却组件的冷却选项的要求,并且对包括直接液体冷却回路的冷却选项需要附加的验证,但是如果针对所有系统板都使用相同的液体冷却回路设计,则此种验证可能只需要被执行一次。一般来说,本文所描述的混合液体冷却技术在使用不易燃和/或非GWP或低GWP的浸没流体时可以提供高组件级和机架级冷却能力以及低总拥有成本。

[0024] 在以下描述中,阐述了众多具体细节,但是可以在没有这些具体细节的情况下实施本文中所描述的技术的实施例。公知的电路、结构和技术未被详细示出,以避免混淆对本描述的理解。“实施例”、“各实施例”、“一些实施例”等等可包括特征、结构或特性,但是并非每一个实施例都必定包括这些特定的特征、结构或特性。

[0025] 一些实施例可以具有针对其他实施例所描述的特征中的一些或全部,或完全不具有这些特征。“第一”、“第二”、“第三”等等描述常见的对象,并且指示相同对象的不同实例正在被引用。此类形容词并不暗示如此描述的对象必须在时间上或空间上、在排序方面或以任何其他方式按给定顺序。“连接的”可指示元件处于直接的物理或电接触,并且“耦合的”可指示元件协作或交互,但这些元件可以或不处于直接的物理或电接触。如本文所使用,短语“热耦合”是指被耦合以促进热量传递的组件,并且短语“液体地耦合”是指被耦合以促进液体在它们之间流动的组件。

[0026] 说明书可使用短语“在一实施例中”、“在实施例中”、“在一些实施例中”和/或“在各实施例中”,这些短语中的每一个都可指代相同或不同实施例中的一个或多个。此外,如相对于本公开的实施例所使用的术语“包含”、“包括”、“具有”等是同义的。

[0027] 现在对附图进行参考,这些附图不必按比例绘制,其中使用类似或相同数字在不同的图中指示相同或类似的部分。在不同的图中使用类似或相同的数字并不意味着包括类似或相同数字的所有的图构成单个或同一个实施例。具有不同的字母后缀的相同的数字可表示类似组件的不同实例。附图总的来说通过示例的方式而不是限制的方式来图示在本文档中所讨论的各实施例。

[0028] 在以下描述中,为了进行解释,阐述了众多具体细节以便提供对该描述的透彻理解。然而,可以显而易见的是,可以在不具有这些具体细节的情况下实施新颖的实施例。在其他实例中,以框图形式示出了多个公知的结构和设备以促进对这些结构和设备的描述。意图在于涵盖在权利要求范围之内内的所有修改、等效方案和替代方案。

[0029] 本文公开了为浸入浸没流体中的集成电路组件提供两种冷却机制的混合液冷却技术。为浸入浸没流体中的所有集成电路组件提供冷却的第一种冷却机制是将由集成电路组件生成的热量耗散到浸没流体中。第二种冷却机制是通过流过耦合至集成电路组件的直接液体冷却回路的工作流体吸收由集成电路组件生成的热量。

[0030] 图2A和图2B图示出示例混合液体冷却系统。图2A图示出用于对位于开放式浴浸没槽204内的多个系统板220进行冷却的混合液体冷却系统200。混合液体冷却系统200包括开放式浴浸没槽204、供应歧管208、回流歧管212和多个直接液体冷却回路216。系统板220垂直地布置在开放式浴浸没槽204内。图2A中包括系统板220和开放式浴浸没槽204的部分表示系统板220和浸没槽204的俯视图,其中标签“前”、“后”、“左”和“右”指示浸没槽204的侧面。浸没槽204可以是足够大以容纳被定位在槽内的组件(系统板、直接液体冷却回路、热交换器等),并满足其他浸没槽的设计约束(例如,机械强度足以支撑浸没流体和被放置在槽内的组件的重量)的任何开放式浴浸没槽。在一些实施例中,浸没槽204满足开放式计算平台(OCP)浸没槽设计指南。

[0031] 供应歧管208和回流歧管212连接到多个直接液体冷却回路216。每个系统板220包括附接到系统板220的一个或多个第一集成电路组件224。第一集成电路组件物理地耦合和热耦合至作为直接液体冷却回路216中的一者的一部分的一个或多个冷却板(未示出)。每

个系统板220进一步包括附接到板的、不物理地耦合也不热耦合至直接液体冷却回路216中的任一者的一个或多个第二集成电路组件228。在一些实施例中,各单个第一集成电路组件224经由位于第一集成电路组件224与冷却板之间的热界面材料(TIM)层、热耦合至直接液体冷却回路216的冷却板。TIM层可以是任何合适的材料,诸如银热化合物、热润滑脂、相变材料、铝箔或石墨片。冷却板可以是任何合适类型的冷却板(诸如管状冷却板或包括内部翅片或通道(例如微通道)的冷却板),并且由与浸没流体和工作流体化学兼容的任何合适的材料(诸如铜、铝或不锈钢)制成。第一集成电路组件224可以经由一个或多个紧固件(例如,螺钉)物理地耦合至冷却板,该紧固件将冷却板固定到模块、支架、印刷电路板或第一集成电路组件224经由插座、直接附接或以其他方式被固定到的另一个组件。

[0032] 当系统200正在操作时,浸没槽204用浸没流体222来至少部分地填充,并且第一集成电路组件224和第二集成电路组件228被浸入浸没流体222中。在一些实施例中,系统板220上的、未附接集成电路组件或附接了不会被冷却的集成电路组件的部分未被浸入浸没流体222中。

[0033] 由第一集成电路组件224生成的热量被流经耦合至第一集成电路组件224的冷却板的工作流体吸收。当第一集成电路组件224被浸入浸没流体222中时,由第一集成电路组件224生成的热量中的一些热量可以被耗散到浸没流体222中,但是直接液体冷却回路216为第一集成电路组件224提供主要冷却机制。将热量耗散到浸没流体222中是冷却第二集成电路组件228的机制。第二集成电路组件228可以物理地耦合和热耦合至散热器(例如,空气冷却散热器),以帮助将热量耗散到浸没流体222中。在一些实施例中,第二集成电路组件228可以以与第一集成电路组件物理地耦合(例如,经由紧固件)和热耦合(例如,经由TIM层)到冷却板的方式类似的方式物理地耦合和热耦合至散热器。在一些实施例中,第二集成电路组件228在不使用紧固件的情况下物理地耦合至散热器,并且依赖TIM层将第二集成电路组件228物理地耦合和热耦合至散热器。

[0034] 冷却分配单元(或冷却剂分配单元,CDU) 230流体地耦合至供应歧管208和回流歧管212。CDU 230将第一工作流体提供(例如,泵送)给供应歧管208。第一工作流体通过直接液体冷却回路216,在直接液体冷却回路216处,第一工作流体吸收由第一集成电路组件224生成的热量。被加热的第一工作流体从直接液体冷却回路216中流出,并且进入回流歧管212。CDU 230从回流歧管212接收被加热的第一工作流体,对第一工作流体进行冷却,并将第一工作流体返回到供应歧管208。第一工作流体可以是单相或两相工作流体,并与浸没流体222化学相容。在一些实施例中,CDU 230可以经由与对于浸没槽204是局部的供应歧管208和回流歧管212分开的全局供应歧管和回流歧管流体地耦合至供应歧管208和回流歧管212。全局供应歧管和回流歧管可以将第一工作流体供应给多个浸没槽以对位于其中的集成电路组件进行冷却。

[0035] 位于浸没槽204内的热交换器(HX) 232利用由CDU 230提供的第二工作流体从浸没流体222中移除热量。CDU 230从热交换器232接收被加热的第二工作流体,对第二工作流体进行冷却,并将第二工作流体返回到热交换器232以进一步对浸没流体222进行冷却。CDU 230使用由供应线234提供给CDU 230的冷却剂(例如,设施服务水),将由CDU 230从第一和第二工作流体中提取的热量带离CDU 230。冷却剂由回流线236带离CDU 230。

[0036] 尽管图2A中的CDU 230被示出为将第一和第二工作流体提供给直接液体冷却回路

216和热交换器232,但在一些实施例中,第一和第二工作流体可以从分开的源被提供给冷却回路216和热交换器232。例如,第一CDU可以将第一工作流体提供给直接液体冷却回路216,并且第二CDU可以将第二工作流体提供给热交换器232。在另一个示例中,热交换器232连接到设施水源246,并且第二工作流体是由设施水源246提供的设施水。在一些实施例中,单个CDU可以支持多个浸没槽。也就是说,单个CDU可以流体连接到一个或多个附加供应歧管和一个或多个附加回流歧管,以将工作流体提供给位于一个或多个附加浸没槽内的直接液体冷却回路。

[0037] 在一些实施例中,浸没流体222是具有以下特性中的一个或多个特性的高介电流体:广泛地可用的、可生物降解的、可回收的、低成本、小于1的GWP、不易燃的。浸没流体222可以经由自然或强制对流在开放式浴浸没槽204内循环。在强制对流的实施例中,可以使用单个泵来使浸没流体222在槽204中循环。在一些实施例中,可以使用多个泵来使浸没流体222在槽204内循环,但是在有多个系统板220位于单个槽内的情况下,泵的数量小于系统板的数量。

[0038] 图2B图示出工作流体通过直接液体冷却回路216中的一个直接液体冷却回路的流动。直接液体冷却回路216可以包括形成从供应歧管208到回流歧管212的回路的一个或多个导管以及耦合至第一集成电路组件224的一个或多个冷却板。工作流体流出供应歧管208,在供应歧管208处,工作流体被运送到系统板220A并进入回路216A。系统板220A包括第一集成电路组件224A和224B(其是高TDP处理器单元)以及第二集成电路组件228(DIMM 228A和附加第二集成电路组件228B)。工作流体流经附接到第一集成电路组件224A和224B的冷却板,在该冷却板处,工作流体吸收由这些组件生成的热量,并遵循返回路径242返回到回流歧管212。

[0039] 直接液体冷却回路216经由连接器(诸如连接器240)连接到供应歧管208和回流歧管212。在一些实施例中,连接器240包括允许将系统板220容易地添加到系统200和将系统板220容易地从系统200移除的快速断开配件。例如,在系统板220被放置在浸没槽204中之后,直接液体冷却回路216经由快速断开配件而经由连接器240容易地连接到供应歧管208和回流歧管216。连接器240可以包括单个快速断开配件或在任一端具有快速断开配件的导管(例如,柔性管)。在其他实施例中,系统板220可以经由其他机制连接到供应歧管208和回流歧管212。

[0040] 通过能够将系统板单独地连接到供应歧管和回流歧管,本文公开的混合液体冷却技术提供了可交换的混合液体冷却解决方案。例如,可以在逐个板的基础上做出是仅通过浸没流体冷却还是通过浸没流体冷却与直接液体冷却组合来使系统板的组件冷却的决策。包括不能被浸没流体充分冷却的高TDP组件的板可以包括耦合至高TDP组件的直接液体冷却回路,并且包括可以在不依赖于直接液体冷却的情况下全部被充分冷却的组件的板被留下为不具有不耦合至直接液体冷却回路。因此,混合液体冷却系统可以包括具有和不具有耦合至它们的直接液体冷却回路的系统板的混合。

[0041] 包括多个系统板220的液体冷却系统200可以被认为是机架系统。机架系统可以包括少至一个系统板和多至与冷却系统200允许的冷却能力和物理特性(例如,浸没槽的尺寸、CDU可以支持的直接液体冷却回路的数量)一样多的系统板。

[0042] 图3是包括能量回收单元的示例混合液体冷却系统。除了将由流经直接液体冷却

回路的两相工作流体捕获的热量转换为电力的能量回收单元354之外,液体冷却系统300还包括与液体冷却系统200类似的组件。冷却系统300包括封闭式浴浸没槽304、供应歧管308和回流歧管312。供应歧管308和回流歧管312连接到多个直接液体冷却回路316,这些直接液体冷却回路316被垂直地布置在封闭式浴浸没槽304内。直接液体冷却回路316耦合至被附接在系统板320上的第一组集成电路组件324。系统板320进一步包括被附接到该系统板320的第二组集成电路组件328,该第二组集成电路组件328不物理地耦合或热耦合至直接液体冷却回路316中的任何直接液体冷却回路316。第一集成电路组件324物理地耦合和热耦合至作为直接液体冷却回路316的一部分的冷却板,并且第二集成电路组件可以耦合至空气冷却的散热器,该散热器促进由第二集成电路组件生成的热量到两相浸没流体322的耗散。

[0043] 系统300进一步包括位于浸没槽中的气压传感器360和用于将加压的惰性气体提供到封闭式浴浸没槽304中的气体入口364,该气压传感器360提供指示浸没流体322上方的气压的气压传感器数据。气压控制器390基于由气压传感器360提供的气压传感器数据来控制惰性气体到浸没槽304中的流动,并可以维持浸没流体上方的目标气压以维持浸没流体322的沸点。在一些实施例中,编排环境可以接收气压传感器数据并向气压控制器390提供该气压控制器390可以用来控制惰性气体到槽304中的流动的气体流动控制信息。在一些实施例中,气压传感器360位于系统板320中的一者上,并且基板管理控制器(BMC)将气压传感器数据提供给气压控制器390或编排环境。在一些实施例中,可以根据DCIM协议生成气体流动控制信息并将其提供给气压控制器。

[0044] 冷却分配单元(CDU)330流体地耦合至供应歧管308,以将两相工作流体提供给直接液体冷却回路316。回流歧管312流体地耦合至能量回收单元354,以将由第一集成电路组件加热的工作流体运送到能量回收单元354。回流歧管312包括冷凝器350,该冷凝器350从浸没流体322中提取浸没流体322从第二集成电路组件328中吸收的热量。该提取的热量在两相工作流体流经回流歧管312至能量回收单元354时被两相工作流体吸收。

[0045] 在一些实施例中,两相浸没流体和两相工作流体在系统中的各个点拥有如下的温度和蒸汽质量。由于工作流体是两相工作流体,系统300可以在更高的温度(例如,大于50℃)下将工作流体提供给供应歧管308。工作流体以饱和液体或以主要是液体的汽液混合物的形式供应给供应歧管。在回流歧管312中的、在直接液体冷却回路316连接到回流歧管312之后且工作流体从冷凝器350吸收热量之前的点处(例如,在点370处),工作流体可以具有高蒸汽质量(例如,约80-90%),并且仍然处于与其进入供应歧管308时(例如,在点374处)相同温度。当工作流体通过冷凝器350时,它从浸没流体322中吸收热量。冷凝器350位于浸没流体322上方,并且因此被暴露于浸没流体的蒸汽。由冷凝器350从浸没流体蒸汽中提取的热量首先作为潜热(latent heat)被工作流体吸收。一旦剩余的工作流体变成气体,由冷凝器从浸没流体蒸汽中提取的剩余热量作为提高工作流体蒸汽的温度的显热(sensible heat)被吸收。

[0046] 在通过冷凝器350(例如,在点378处)之后,工作流体可以具有100%的蒸汽质量(已完全转化为气体)并且具有适于由能量回收单元354使用的温度(例如,>60℃)。在其他实施例中,工作流体在从直接液体冷却回路316流出时或在通过冷凝器350之后可以具有不同的温度和/或不同的蒸汽质量。冷凝器350可以包括一个或多个冷凝器盘管。

[0047] 为了在工作流体进入能量回收单元354时实现工作流体的期望温度和/或蒸汽质量,CDU 330可以基于被浸没在浸没槽304中的集成电路组件消耗的功率量来(例如,经由位于CDU 330内的微控制器)调节工作流体的流速。一般来说,工作流体流速可以随着集成电路组件功率消耗的增加而增加,以防止工作流体以过高的温度到达能量回收单元354,或者防止工作流体在其流经冷凝器350时具有过高的温度,工作流体在其流经冷凝器350时具有过高的温度可能阻碍工作流体从浸没流体322中吸收足够的热量来保持第二集成电路组件328被冷却。

[0048] CDU 330可以接收指示集成电路组件功耗的功耗信息380。集成电路组件功耗量可以包括集成电路组件级、系统板级和/或机架级功耗信息。功耗信息380可以基于组件级或板级性能度量或预期组件级或板级功耗水平,该预期组件级或板级功耗水平基于在集成电路组件上正在执行或要被执行的工作负荷和/或应用。功耗信息380可由以下各项中的中的一项或多项提供给CDU 330:系统板320、机架级控制器、或管理数据中心资源的编排环境。位于系统板320上的基板管理控制器(BMC)可以将功耗度量或其他与功率有关的信息提供给CDU 330、机架级控制器、或编排环境元件。在一些实施例中,功耗信息380可以由软件定义网络(SDN)控制器或网络功能虚拟化(NFV)基础设施(NFVI)元件(例如,NFV编排器(NFVO)、虚拟化基础设施管理器(VIM)、虚拟网络功能管理器(VNFM))提供。在一些实施例中,可以遵照数据中心基础设施管理(DCIM)协议生成和/或提供功耗信息380。

[0049] 在一些实施例中,工作流体流速的控制可以进一步基于由位于系统300中的一个或多个温度传感器提供的温度传感器数据。这些温度传感器可以位于供应歧管308、回流歧管312、浸没槽304中或位于其他地方。在一些实施例中,CDU 330可以接收流速控制信息而不是功耗信息380来控制工作流体流速。流速控制信息可以由编排环境或机架控制器确定,并且基于集成电路组件功耗。

[0050] 能量回收单元354可以将工作流体的热能转化为电力。在一些实施例中,工作流体通过有机朗肯循环(organic Rankine cycle)发电机以产生电力。所产生的电力可用于为混合液体冷却系统的组件(例如,CDU泵、浸没槽泵)和/或属于容纳混合液体冷却系统的设施的基础设施的组件(诸如属于冷却器、冷凝器、塔的风扇或电机等)供电。回收由工作流体捕获的热能以帮助向混合液体冷却系统或设施基础设施供电可以降低设施的PUE,并减少数据中心运营商的总拥有成本。

[0051] 能量回收单元354流体地耦合至CDU 330,以使工作流体流回到CDU 330。可以经由供应线332和回流线336提供设施水或另一种冷却剂,以将热量从CDU 330移除。如上文关于图2A和图2B所讨论,CDU 330可以将工作流体提供给多个浸没槽中的直接液体冷却回路,热交换器332可以从CDU或与提供直接液体冷却工作流体的CDU分开的其他源接收工作流体。在一些实施例中,能量回收单元354回收由工作流体捕获的由集成电路组件生成的热量中的10%或更多。

[0052] 本文所述的混合和可互换液体冷却技术可以至少提供以下优点。第一,它们提供了一种可为高TDP处理器单元(例如,符合开放计算平台加速器模块(OAM)的600W GPU模块、具有集成高带宽存储器(HBM)的350W服务器CPU)和高TDP DIMM的组合提供冷却、同时捕获由这些组件生成的高度(例如,高达98%)的热量的液体冷却策略。第二,在直接液体冷却回路中使用冷却板以及具有相对低成本的单相浸没流体可能得到低的总拥有成本(例如,以

每美元性能或每虚拟机核成本来衡量),因为它们可以支持高TDP集成电路组件或高性能集成电路组件库存单位(SKU)的冷却。第三,所公开的液体冷却技术可以为OEM提供可互换的液体冷却系统。第四,在一些实施例中,取决于在特定的液体冷却实现方式中使用的组件(例如所使用的冷却板的类型),集成电路元件可能能够使用较温暖的浸没流体(例如ASHRAE W4级流体)进行冷却。第四,通过使用非GWP或低GWP的流体冷却高TDP组件,所公开的技术可以帮助公司实现环境可持续性目标。回收由直接液体冷却捕获的热量来对设施基础设施的液体冷却系统供电,可进一步辅助公司实现可持续性目标。第五,通过调节通过直接冷却回路的工作流体流速以控制工作流体进入能量回收单元时的温度和蒸汽质量,可能不需要在板级下控制流速,或在组件级下调节功耗。也就是说,工作流体流速的调节可以提供机架级的解决方案来确保工作流体到达能量回收单元时具有合适的温度和蒸汽质量。

[0053] 图4是示例混合液体冷却方法的流程图。该方法400可由位于数据中心的混合液体冷却系统执行。在410处,第一工作流体被提供给供应歧管。在420处,从回流歧管接收到的第一工作流体被冷却。供应歧管和回流歧管被连接到多个直接液体冷却回路,该多个直接液体冷却回路物理地耦合和热耦合至位于用浸没流体至少部分地填充的浸没槽内的第一多个集成电路组件。第一多个集成电路组件被浸入浸没流体中,并且第一工作流体被第一多个集成电路组件加热。在430处,第二工作流体被提供给位于浸没槽内并被浸入浸没流体中的热交换器。在440处,从热交换器接收到的第二工作流体被冷却。第二多个集成电路组件位于浸没槽内并被浸入浸没流体内。第二多个集成电路组件不物理地耦合和热耦合至多个液体回路。

[0054] 在其他实施例中,该方法400可以包括一个或多个附加的要素。例如,方法400可以进一步包括基于集成电路功耗信息来调节工作流体到供应歧管的流速。在另一个示例中,方法400可以进一步包括基于指示浸没流体上方气压的气压传感器数据来调节加压的惰性气体到封闭式浴浸没槽中的流动。

[0055] 本文描述的技术可以由各种计算系统中的任何一种计算系统来执行或在各种计算系统中的任何一种计算系统中实现,这些计算系统包括移动计算系统(例如,智能电话、手持计算机、平板计算机、膝上型计算机、便携式游戏控制台、二合一可转换计算机、便携式一体式计算机)、非移动计算系统(例如,台式计算机、服务器、工作站、固定游戏机控制台、机顶盒、智能电视、机架式计算解决方案(例如,刀片式、托盘式或橇板式计算系统))、以及嵌入式计算系统(例如,作为车辆、智能家用电器、消费电子产品或装备、制造装备的一部分的计算系统)。如本文所用,术语“计算系统”包括计算设备并且包括包含多个分立物理组件的系统。在一些实施例中,计算系统位于数据中心(诸如企业数据中心(例如,由公司拥有和运营并且通常位于公司场所的数据中心)、管理服务数据中心(例如,由代表公司的第三方管理的数据中心)、共同定位的数据中心(例如,其中数据中心基础设施由数据中心主机提供,并且公司提供并管理其自己的数据中心组件(服务器等)的数据中心)、云数据中心(例如,由托管公司应用和数据的云服务提供商运营的数据中心)、以及边缘数据中心(例如,通常具有比其他数据中心类型更小的空间占用、靠近于其服务的地理区域的数据中心)。

[0056] 图5是可由混合液体冷却系统冷却、或可在混合液体计算系统中提供工作流体流速控制或气压控制的示例计算系统的框图。一般而言,图5中示出的组件可以与其他示出的组件进行通信,但是为了易于图示,并非所有的连接均被示出。计算系统500是包括第一处

理器单元502和第二处理器单元504的多处理器系统,该第一处理器单元502和第二处理器单元504包括点对点(P-P)互连。处理器单元502的点对点(P-P)接口506经由点对点互连505耦合至处理器单元504的点对点接口507。应理解,图5中图示出的点对点互连中的任一者或全部可以替代地被实现为多分支总线,并且图5中图示出的任何或所有总线都可以由点对点互连代替。

[0057] 处理器单元502和504包括多个处理器核。处理器单元502包括处理器核508,并且处理器单元504包括处理器核510。处理器核508和510可以以与下文结合图6所讨论的方式类似的方式或者以其他方式来执行计算机可执行指令。

[0058] 处理器单元502和504进一步分别包括高速缓存存储器512和514。高速缓存存储器512和514可以存储由处理器单元502和504的一个或多个组件(诸如处理器核508和510)利用的数据(例如,指令)。高速缓存存储器512和514可以是计算系统500的存储器层级结构的部分。例如,高速缓存存储器512可以在本地存储也被存储在存储器516中的数据,以允许由处理器单元502更快地访问该数据。在一些实施例中,高速缓存存储器512和514可以包括多个高速缓存级,诸如第1级(L1)、第2级(L2)、第3级(L3)、第4级(L4)和/或其他高速缓存或高速缓存级,诸如末级高速缓存(LLC)。这些高速缓存存储器中的一些高速缓存存储器(例如,L2、L3、L4、LLC)可以在处理器单元中的多个核之间共享。存储器层级结构中的较高级别的高速缓存级(较小的和较快的高速缓存)中的一者或多者可以位于与处理器核相同的集成电路管芯上,并且较低高速缓存级(较大的和较慢的高速缓存)中的一者或多者可以位于与处理器核集成电路管芯物理地分离的集成电路管芯上。

[0059] 虽然计算系统500被示出具有两个处理器单元,但是计算系统500可以包括任何数量的处理器单元。进一步地,处理器单元可以包括任何数量的处理器核。处理器单元可以采取各种形式,诸如中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、通用GPU(GPGPU)、加速处理单元(APU)、现场可编程门阵列(FPGA)、神经网络处理单元(NPU)、数据处理单元(DPU)、加速器(例如,图形加速器、数字信号处理器(DSP)、压缩加速器、人工智能(AI)加速器)、控制器或者其他类型的处理单元。因此,处理器单元可以被称为XPU(或xPU)。进一步地,处理器单元可以包括这些不同类型的处理单元中的一个或多个。在一些实施例中,计算系统包括具有多个核的一个处理器单元,并且在其他实施例中,计算系统包括具有单个核的单个处理器单元。如本文中所使用,术语“处理器单元”和“处理单元”可以指任何处理器、处理器核、组件、模块、引擎、电路系统或本文中所描述或所引用的任何其他处理元件。

[0060] 在一些实施例中,计算系统500可以包括与计算系统中的另一个处理器单元异构或不对称的一个或多个处理器单元。系统中的处理单元之间在包括架构、微架构、热、功耗特性等的一系列指标度量方面可能存在各种差异。这些差异可将其自身有效显示为系统中的处理器单元之间的不对称性和异构性。

[0061] 处理器单元502和504可以位于单个集成电路组件(诸如多芯片封装(MCP)或多芯片模块(MCM))中,或者它们可以位于分开的集成电路组件中。包括一个或多个处理器单元的集成电路组件可以包括附加组件,诸如嵌入式DRAM、堆叠式高带宽存储器(HBM)、共享高速缓存存储器(例如,L3、L4、LLC)、输入/输出(I/O)控制器、或存储器控制器。附加组件中的任何一者都可以位于与处理器单元相同的集成电路管芯上,或位于与包括处理器单元的集成电路管芯分开的一个或多个集成电路管芯上。在一些实施例中,这些分开的集成电路管

芯可以被称为“小芯片”。在一些实施例中,在计算系统中的处理器单元之间存在异构性或不对称性的情况下,该异构性或不对称性可以存在于位于同一集成电路组件中的处理器单元之间。在其中集成电路组件包括多个集成电路管芯的实施例中,管芯之间的互连可以由封装衬底、一个或多个硅中介层(interposer)、嵌入封装衬底的一个或多个硅桥接器(诸如英特尔®嵌入式多管芯互连桥接器(EMIB))或上述各项的组合提供。

[0062] 处理器单元502和504进一步包括存储器控制器逻辑(MC)520和522。如图5中所示,MC 520和522分别控制耦合至处理器单元502的存储器516和耦合至处理器单元504的存储器518。存储器516和518可以包括各种类型的易失性存储器(例如,动态随机存取存储器(DRAM)、静态随机存取存储器(SRAM))和/或非易失性存储器(例如,闪存、基于硫族化物的相变非易失性存储器),并且包括计算系统的存储器层级结构的一个或多个层。虽然MC 520和522被图示出为被集成到处理器单元502和504中,但在替代实施例中,MC可以在处理器单元的外部。

[0063] 处理器单元502和504经由点对点互连532和534耦合至输入/输出(I/O)子系统530。点对点互连532将处理器单元502的点对点接口536与I/O子系统530的点对点接口538连接,并且点对点互连534将处理器单元504的点对点接口540与I/O子系统530的点对点接口542连接。输入/输出子系统530进一步包括用于将I/O子系统530耦合至图形引擎552的接口550。I/O子系统530和图形引擎552经由总线554耦合在一起。

[0064] 输入/输出子系统530进一步经由接口562耦合至第一总线560。第一总线560可以是外围组件互连快捷(PCIe)总线或任何其他类型的总线。各种I/O设备564可以耦合至第一总线560。总线桥570可以将第一总线560耦合至第二总线580。在一些实施例中,第二总线580可以是低引脚数(LPC)总线。各种设备可以耦合至第二总线580,这些设备包括例如键盘/鼠标582、音频I/O设备588、以及用于存储计算机可执行指令(代码)592或数据的存储设备590(诸如硬盘驱动器、固态驱动器或另一存储设备)。代码592可包括用于执行本文中所描述的方法的计算机可执行指令。可以耦合至第二总线580的附加组件包括(多个)通信设备584,其可使用一种或多种通信标准(例如,IEEE 502.11标准及其补充)经由一个或多个有线或无线通信链路(例如,导线、电缆、以太网连接、射频(RF)信道、红外信道、Wi-Fi信道)提供计算系统500与一个或多个有线或无线网络586(例如,Wi-Fi、蜂窝或卫星网络)之间的通信。

[0065] 在其中通信设备584支持无线通信的实施例中,通信设备584可以包括与一个或多个天线耦合的无线通信组件,以支持计算系统500和外部设备之间的通信。无线通信组件可以支持各种无线通信协议和技术,诸如近场通信(NFC)、IEEE 802.11(Wi-Fi)变体、WiMax、蓝牙、Zigbee、4G长期演进(LTE)、码分多址(CDMA)、通用移动通信系统(UMTS)和全球移动通信系统(GSM)以及5G宽带蜂窝技术。另外,无线调制解调器可以支持与一个或多个蜂窝网络的通信,以供在单个蜂窝网络内、在蜂窝网络之间、或在计算系统与公共交换电话网络(PSTN)之间进行数据和语音通信。

[0066] 系统500可以包括可移除存储器,诸如闪存卡(例如,SD(安全数字)卡)、记忆棒、订户身份模块(SIM)卡。系统500中的存储器(包括高速缓存512和514、存储器516和518以及存储设备590)可以存储数据和/或计算机可执行指令以用于执行操作系统594和应用程序596。示例数据包括网页、文本消息、图像、声音文件、和视频数据,该数据由系统500经由一

个或多个有线或无线网络586发送至一个或多个网络服务器或其他设备和/或从一个或多个网络服务器或其他设备接收、或者供系统500使用。系统500还可以具有对诸如外部硬驱动器或基于云的存储之类的外部存储器或存储(未示出)的访问权。

[0067] 操作系统594可以控制图5中图示出的组件的分配和使用,并且支持一个或多个应用程序596。应用程序596可以包括常见的计算系统应用(例如,电子邮件应用、日历、联系人管理器、网页浏览器、消息收发应用)以及其他计算应用。

[0068] 计算系统500可以支持各种附加输入设备(诸如触摸屏、话筒、单视场相机、立体相机、轨迹球、触摸板、触控板、接近度传感器、光传感器、心电图(ECG)传感器、PPG(光体积描记图)传感器、皮肤电反应传感器)和一个或多个输出设备(诸如一个或多个扬声器或显示器)。其他可能的输入设备和输出设备包括压电型和其他触觉I/O设备。这些输入设备或输出设备中的任一者可以在系统500的内部、在系统500的外部、或者可以可移除地与系统500附接。外部输入设备和输出设备可以经由有线或无线连接与系统500进行通信。

[0069] 另外,计算系统500可以提供一个或多个自然用户接口(NUI)。例如,操作系统594或应用596可以包括语音识别逻辑作为语音用户接口的部分,语音用户接口允许用户通过语音命令来操作系统500。进一步地,计算系统500可以包括允许用户经由身体、手部、或面部动作而与计算系统500进行交互的输入设备和逻辑。

[0070] 系统500可以进一步包括至少一个输入/输出端口,包括物理连接器(例如,USB、IEEE 1394(火线)、以太网、RS-232)、电源(例如,电池)、全球卫星导航系统(GNSS)接收器(例如,GPS接收器);陀螺仪;加速度计;和/或罗盘。GNSS接收器可以耦合至GNSS天线。计算系统500可以进一步包括耦合至一个或多个附加接收器、发射器和/或收发器以启用附加功能的一根或多根附加天线。

[0071] 应当理解,图5图示出仅一个示例计算系统架构。可以使用基于替代架构的计算系统来实现本文中所描述的技术。例如,代替于位于分立的集成电路上的处理器502和504以及图形引擎552,计算系统可以包括包含多个处理器、图形引擎和附加组件的SoC(芯片上系统)集成电路。进一步地,计算系统可以经由与图5中示出的总线或点对点配置不同的总线或点对点配置来连接其构成组件。而且,图5中的所图示的组件不是必需的或全部包括的,因为在替代实施例中,可移除所示组件并添加其他组件。

[0072] 图6是用于执行计算机可执行指令作为实现本文中所描述的技术的一部分的示例处理器单元600的框图。处理器单元600可以是单线程核,或者可以是多线程核,体现在其每个处理器单元可包括多于一个硬件线程上下文(或“逻辑处理器”)。

[0073] 图6还图示出耦合至处理器单元600的存储器610。存储器610可以是本文中所描述的任何存储器或者本领域技术人员已知的任何其他存储器。存储器610可以存储可由处理器核600执行的计算机可执行指令615(代码)。

[0074] 处理器单元包括接收来自存储器610的指令的前端逻辑620。指令可以由一个或多个解码器630处理。解码器630可以生成微操作(诸如采用预定义格式的固定宽度的微操作)作为其输出,或者可生成反映原始代码指令的其他指令、微指令或控制信号。前端逻辑620进一步包括寄存器重命名逻辑635和调度逻辑640,寄存器重命名逻辑635和调度逻辑640一般分配资源并对与对指令进行转换以供执行相对应的操作进行排队。

[0075] 处理器单元600进一步包括执行逻辑650,执行逻辑650包括一个或多个执行单元

(EU) 665-1至665-N。一些处理器单元实施例可以包括专用于特定功能或功能集合的数个执行单元。其他实施例可以包括仅一个执行单元或可以执行特定功能的一个执行单元。执行逻辑650执行由代码指令指定的操作。在完成对由代码指令指定的操作的执行之后,后端逻辑670使用引退逻辑675对指令进行引退。在一些实施例中,处理器单元600允许乱序执行但是要求指令的有序引退。引退逻辑675可以采取如本领域技术人员已知的各种形式(例如,重排序缓冲器等等)。

[0076] 至少对于由解码器630所生成的输出、由寄存器重命名逻辑635利用的硬件寄存器和表以及由执行逻辑650修改的任何寄存器(未示出)而言,处理器单元600在指令的执行期间被转换。

[0077] 如本文所使用,术语“模块”是指可采用硬件组件或设备、在处理器单元上运行的软件或固件、或其组合来实现的用于执行符合本公开的一个或多个操作的逻辑。软件和固件可以被具体化为存储在非暂态计算机可读存储介质上的指令和/或数据。如本文所使用,术语“电路”可以单独地或以任意组合包括非可编程(硬连线)电路、可编程电路(诸如处理器单元)、状态机电路和/或存储可由可编程电路执行的指令的固件。本文中所描述的模块可共同地或单独地被具体化为形成计算系统的部分的电路。因此,模块或控制器中的任一者都可以被实现为电路,诸如气压控制器电路或工作流体流速控制器电路。被称为被编程为用于执行方法的计算系统可以被编程为经由软件、硬件、固件或其组合来执行该方法。

[0078] 任何所公开的方法(或其部分)均可以被实现为计算机可执行指令或计算机程序产品。此类指令可以使得能够执行计算机可执行指令的计算系统或一个或多个处理器单元来执行所公开的方法中的任一者。如本文所使用,术语“计算机”是指本文所描述或提及的任何计算系统或设备。由此,术语“计算机可执行指令”是指可由本文中所描述或提及的任何计算系统或设备执行的指令。

[0079] 计算机可执行指令或计算机程序产品以及在所公开技术的实现期间创建和/或使用的任何数据可以被存储在一个或多个有形或非暂态计算机可读存储介质上,该存储介质诸如易失性存储器(例如,DRAM、SRAM)、非易失性存储器(例如,闪存、基于硫族化物的相变非易失性存储器)、光介质盘(例如,DVD、CD)、以及磁存储(例如,磁带存储、硬盘驱动器)。计算机可读存储介质可以被包含在诸如固态驱动器、USB闪存驱动器和存储器模块之类的计算机可读存储设备中。替代地,本文公开的方法中的任何方法(或其一部分)可由包括非可编程电路的硬件组件执行。在一些实施例中,本文中的任何方法均可由执行存储在计算机可读存储介质上的计算机可执行指令的非可编程硬件组件和一个或多个处理单元的组合来执行。

[0080] 计算机可执行指令可以是例如计算系统的操作系统、存储在计算系统本地的应用、或对于计算系统可访问的远程应用(例如,经由web浏览器)的部分。本文所述的方法中的任何方法均可以通过计算机可执行指令来执行,这些指令由单个计算系统或由在网络环境中操作的一个或多个联网的计算系统执行。计算机可执行指令和对计算机可执行指令的更新可以从远程服务器下载到计算系统。

[0081] 进一步地,应理解,所公开的技术的实现不限于任何特定的计算机语言或程序。例如,所公开的技术可以由以C++、C#、Java、Perl、Python、JavaScript、Adobe Flash、C#、汇编语言、或任何其他编程语言编写的软件来实现。同样,所公开的技术不限于任何特定的计算

机系统或任何特定类型的硬件。

[0082] 此外,任何基于软件的实施例(包括例如用于使计算机执行所公开的方法中的任一者的计算机可执行指令)可以通过合适的通信手段被上传、下载或远程访问。此类合适的通信手段包括例如,因特网、万维网、内联网、电缆(包括光纤电缆)、磁通信、电磁通信(包括RF、微波、超声波和红外通信)、电子通信或其他此类通信手段。

[0083] 如在本申请和权利要求书中所使用,由术语“和/或”连接的项列表可意指列出的项的任何组合。例如,短语“A、B和/或C”可意指A;B;C;A和B;A和C;B和C;或A、B和C。如在本申请和权利要求书中所使用,由术语“……中的至少一个”连接的项列表可意指列出的项的任何组合。例如,短语“A、B或C中的至少一个”可意指A;B;C;A和B;A和C;B和C;或A、B和C。而且,如在本申请和权利要求书中所使用的,由术语“……中的一个或多个”联接的项列表可意指所列项的任何组合。例如,短语“A、B和C中的一个或多个”可意指A;B;C;A和B;A和C;B和C;或A、B和C。

[0084] 不应将所公开的方法、设备和系统解释为以任何方式进行限制。替代地,本公开内容单独地以及以与彼此的各种组合和子组合针对各个公开的实施例的所有新颖的且非显而易见的特征和方面。所公开的方法、设备和系统既不限于任何特定方面或特征或其组合,所公开的实施例也不要求存在任何一个或多个特定优点或解决任何一个或多个特定的问题。

[0085] 参考本公开的设备或方法在此提出的操作理论、科学原理或其他理论描述是出于更好地理解的目的而提供的,并且不旨在限制范围。所附权利要求中的设备和方法不限于以由此类操作理论描述的方式起作用的那些设备和方法。

[0086] 虽然出于方便呈现起见而以特定的、连续的顺序描述了所公开的方法中的一些方法的操作,但是应理解,这种描述方式涵盖重新安排,除非本文中阐述的特定语言需要特定的排序。例如,在某些情况下,顺序地描述的操作可以被重新安排或同时执行。而且,出于简单起见,附图可能未示出所公开的方法可以与其他方法结合使用的各种方式。

[0087] 以下示例涉及本文中公开的技术的附加实施例。

[0088] 示例1是一种设备,包括:开放式浴浸没槽;供应歧管,该供应歧管连接至多个直接液体冷却回路;回流歧管,该回流歧管连接至直接液体冷却回路;多个系统板,该多个系统板位于开放式浴浸没槽内,系统板中的各个系统板包括:一个或多个第一集成电路组件,该一个或多个第一集成电路组件物理地耦合且热耦合至直接液体冷却回路中的一者;以及一个或多个第二集成电路组件,该一个或多个第二集成电路组件不物理地耦合且不热耦合至直接液体冷却回路中的任一者;以及热交换器,该热交换器位于开放式浴浸没槽内。

[0089] 示例2包括示例1的设备,其中直接液体冷却回路中的各个直接液体冷却回路包括一个或多个冷却板,并且对于系统板中的各个系统板,第一集成电路组件热耦合至直接液体冷却回路中的一者的冷却板。

[0090] 示例3包括示例1或2的设备,其中开放式浴浸没槽至少部分地填充有浸没流体,并且系统板中的各个系统板的一个或多个第一集成电路组件和一个或多个第二集成电路组件被浸入浸没流体中。

[0091] 示例4包括示例1-3中任一项的设备,进一步包括位于开放式浴浸没槽内的单个泵。

[0092] 示例5包括示例1-4中任一项的设备,其中直接液体冷却回路经由快速断开配件连接到供应歧管和回流歧管。

[0093] 示例6包括示例1-5中任一项的设备,进一步包括位于开放式浴浸没槽内的附加系统板,该附加系统板包括第三多个集成电路组件,该第三多个集成电路组件包括附接到附加系统板的所有集成电路组件,其中该第三多个集成电路组件中的任一组件都不热耦合且不物理地耦合至直接液体冷却回路中的任一者。

[0094] 示例7是一种系统,包括:浸没槽;供应歧管,该供应歧管连接至多个直接液体冷却回路;回流歧管,该回流歧管连接至直接液体冷却回路;多个系统板,该多个系统板位于浸没槽内,系统板中的各个系统板包括:一个或多个第一集成电路组件,该一个或多个第一集成电路组件物理地耦合且热耦合至直接液体冷却回路中的一者;以及一个或多个第二集成电路组件,该一个或多个第二集成电路组件不物理地耦合且不热耦合至直接液体冷却回路中的任一者;热交换器,该热交换器位于浸没槽内;以及冷却分配单元,该冷却分配单元流体地耦合至供应歧管以将工作流体提供给直接液体冷却回路。

[0095] 示例8包括示例7的系统,其中直接液体冷却回路中的各个直接液体冷却回路包括一个或多个冷却板,并且对于系统板中的各个系统板,第一集成电路组件热耦合至直接液体冷却回路中的一者的冷却板。

[0096] 示例9包括示例7或8的系统,其中浸没槽是开放式浴浸没槽。

[0097] 示例10包括示例7-9中任一项的系统,其中被提供给直接液体冷却回路的工作流体是第一工作流体,并且冷却分配单元流体地耦合至热交换器以将第二工作流体提供给热交换器。

[0098] 示例11包括示例7-10中任一项的系统,其中被提供给直接液体冷却回路的工作流体是第一工作流体,并且其中热交换器从除冷却分配单元之外的源接收第二工作流体。

[0099] 示例12包括示例7-11中任一项的系统,其中工作流体是单相工作流体。

[0100] 示例13包括示例7-12中任一项的系统,其中工作流体是两相工作流体。

[0101] 示例14包括示例7-13中任一项的系统,其中浸没槽至少部分地填充有浸没流体。

[0102] 示例15包括示例14的系统,其中一个或多个第一集成电路组件、一个或多个第二集成电路组件和热交换器被浸入浸没流体中

[0103] 示例16包括示例14的系统,其中浸没流体是单相浸没流体。

[0104] 示例17包括示例14的系统,其中浸没流体是不易燃的。

[0105] 示例18包括示例14的系统,其中浸没流体是非GWP(全球变暖潜势)流体。

[0106] 示例19包括示例14的系统,其中浸没流体具有小于1的GWP(全球变暖潜势)。

[0107] 示例20包括示例14的系统,其中:浸没流体是两相浸没流体;浸没槽是封闭式浴浸没槽;回流歧管包括用于使浸没流体蒸汽冷凝的冷凝器;并且系统进一步包括能量回收单元,该能量回收单元流体地耦合至回流歧管和冷却分配单元以从回流歧管接收工作流体以将该工作流体提供给冷却分配单元,该能量回收单元用于将工作流体的热能转换为电力。

[0108] 示例21包括示例20中任一项的系统,其中,冷却分配单元用于基于由系统板中的至少一者的第一集成电路组件消耗的功率量来进一步调节工作流体到供应歧管的流速。

[0109] 示例22包括示例20或21的系统,进一步包括:气体入口,用于将加压的惰性气体提供给封闭式浴浸没槽;气压传感器,位于封闭式浴浸没槽中,用于提供指示浸没流体上方的

气压;以及气压控制器,用于控制加压的惰性气体到封闭式浴浸没槽的流动以维持浸没流体上方的目标气压。

[0110] 示例23包括示例7-22中任一项的系统,其中冷却分配单元流体地连接至一个或多个附加供应歧管,以将工作流体提供给物理地耦合且热耦合至被附接到位于一个或多个附加浸没槽内的系统板的集成电路组件的一个或多个直接液体冷却回路。

[0111] 示例24是一种方法,包括:将第一工作流体提供给供应歧管;将从回流歧管接收到的第一工作流体进行冷却,该供应歧管和回流歧管连接至多个直接液体冷却回路,该多个直接液体冷却回路物理地耦合和热耦合至第一多个集成电路组件,该第一多个集成电路组件被附接到位于浸没槽内的多个系统板,该浸没槽至少部分地填充有浸没流体,该第一多个集成电路组件被浸入该浸没流体中,该第一工作流体由该第一多个集成电路组件加热;将第二工作流体提供给位于浸没槽内并且被浸入浸没流体内的热交换器;以及将从热交换器接收到的第二工作流体进行冷却,第二多个集成电路组件位于浸没槽内并且被浸入浸没流体中,第二多个集成电路组件不物理地耦合且不热耦合至多个直接液体冷却回路。

[0112] 示例25包括示例24的方法,进一步包括:基于由系统板中的至少一者的第一多个集成电路组件所消耗的功率量来调节第一工作流体到供应歧管的流速。

[0113] 示例25包括示例24或25的方法,其中浸没槽是封闭式浴浸没槽,该方法进一步包括:基于由气压传感器提供的、指示浸没流体上方的气压的气压传感器数据来调节加压的惰性气体到封闭式浴浸没槽中的流动。

[0114] 示例26是一种或多种非暂态计算机可读存储介质,存储有计算机可执行指令,该指令在被执行时使一个或多个集成电路组件执行如示例24-26中任一项的方法。

[0115] 示例27是一种系统,包括:开放式浴浸没槽,该开放式浴浸没槽至少部分地填充有浸没流体;热交换器,该热交换器位于开放式浴浸没槽内;液体冷却装置,该液体冷却装置用于:为多个第一集成电路组件提供第一液体冷却机制,该多个第一集成电路组件被附接到位于开放式浴浸没槽内的多个系统板;以及为被附接到系统板的多个第二集成电路组件提供第二液体冷却机制,该第一集成电路组件和第二集成电路组件被浸入浸没流体中。

[0116] 示例28是一种设备,该设备包括用于执行示例24-26中任一项的方法的装置。

行	特性	单相液体浸没 (FC-40)	两相液体浸没 (FC-3284)	冷却板	利用降低的 环境温度的 空气冷却	混合液体冷却
1	高TDP集成电路组件冷却能力	>500W	>500W	>500W	>400W	>500W
2	进一步改善高TDP集成电路组件的液体冷却的可能性	是, 具有更冷的液体	否 (浸没流体的沸点为50°C)	是, 具有更冷的工作流体	不适用	是, 具有更冷的水或更冷的工作流体
3	存储器冷却能力	~25W	~25W	~25W	~18kW	~25W
4	机架功率限制	~100kW	~100kW	~250kW	<40kW	~100-250kW
5	冷却剂选项	FC-40	FC-3284	经PG或非PG处理的水	空气	用于浸没流体的PAO、PG水或用于直接液体冷却的冷却板的工作流体
6	浸没流体成本	高	高	不适用	不适用	低
7	数据中心冷却方法	仅液体	仅液体	液体和空气	仅空气	仅液体
8	热捕获 (%)	>98%	>98%	>75%	不适用	>98%
9	冷却运营费用 (泵和/或风扇功率)	低	低	中等	高	低
10	所需的CDU	是	是	是	不适用	是
11	由于蒸发而导致浸没流体的损失	低	高	不适用	不适用	低
12	环境考虑	高GWP浸没流体	高GWP浸没流体	风扇功率节省	基线	非GWP/低GWP的浸没流体, 加上风扇功率节省
13	验证要求	流体/组件兼容性	流体/组件兼容性	次级回路引起的附加验证	基线	流体/组件兼容性, 一次性次级回路验证

图1

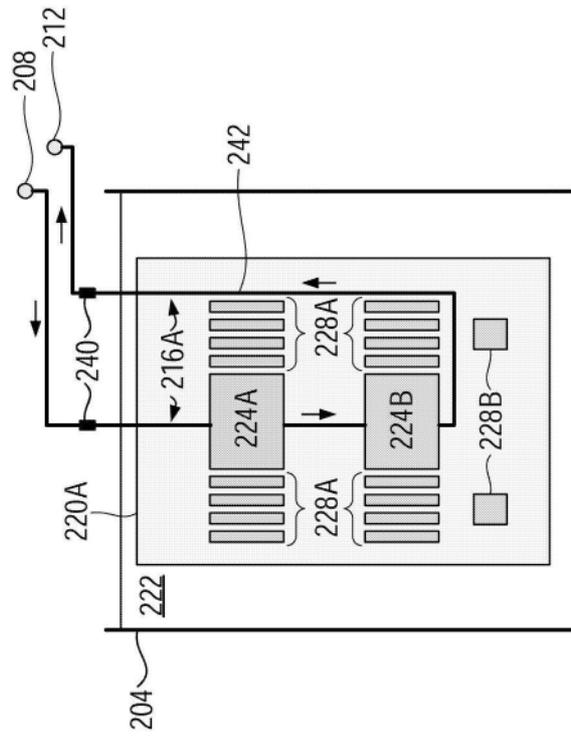


图2B

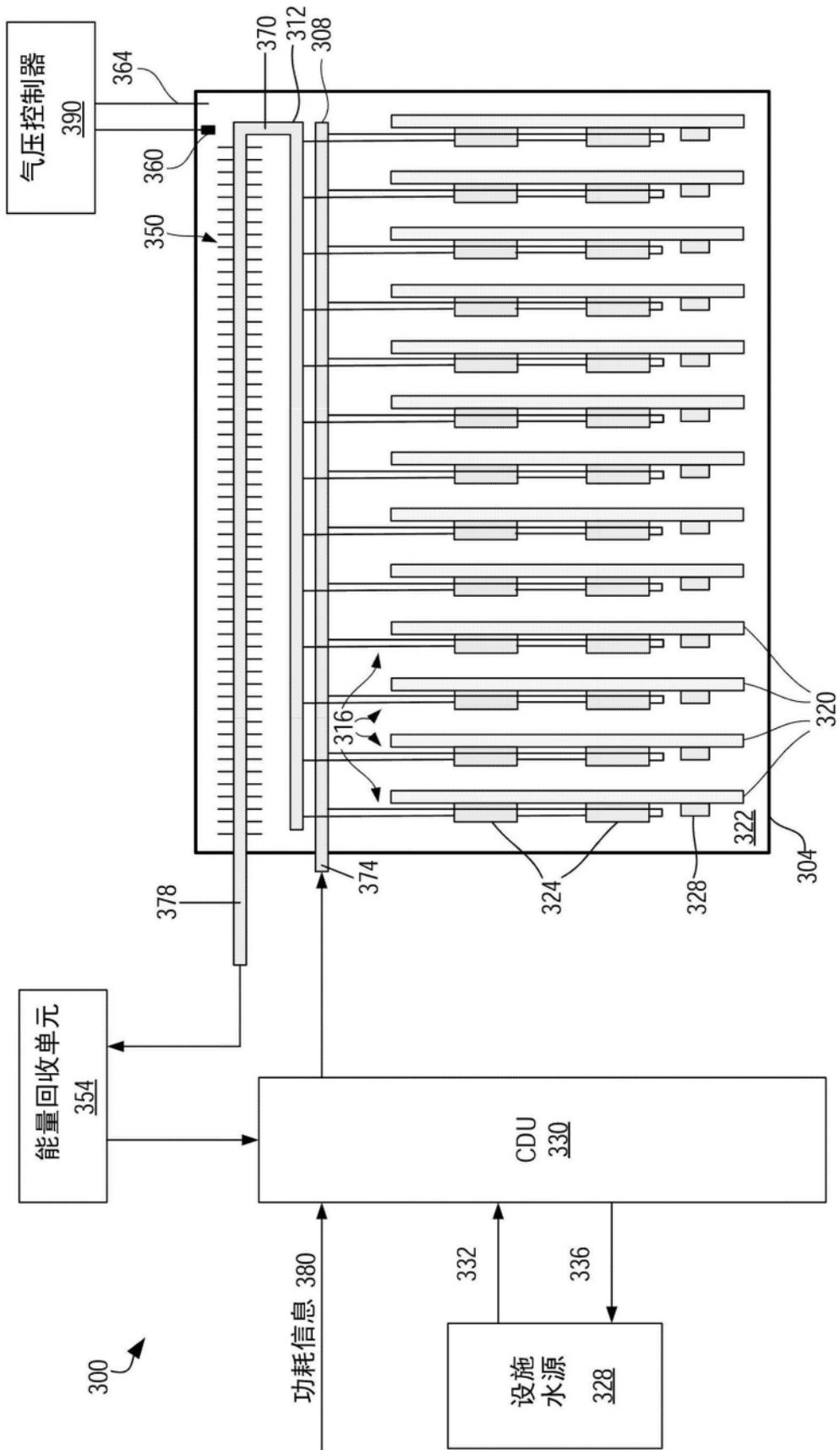


图3

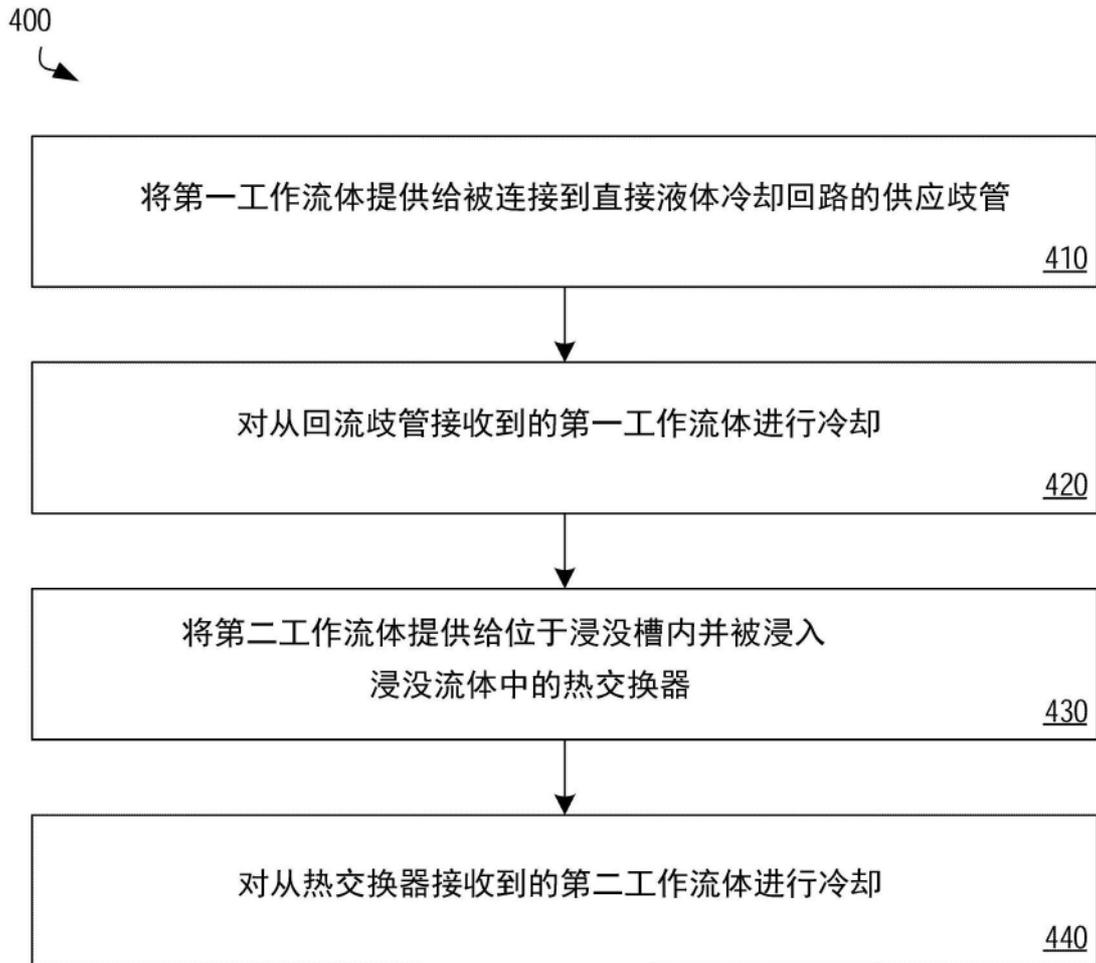


图4

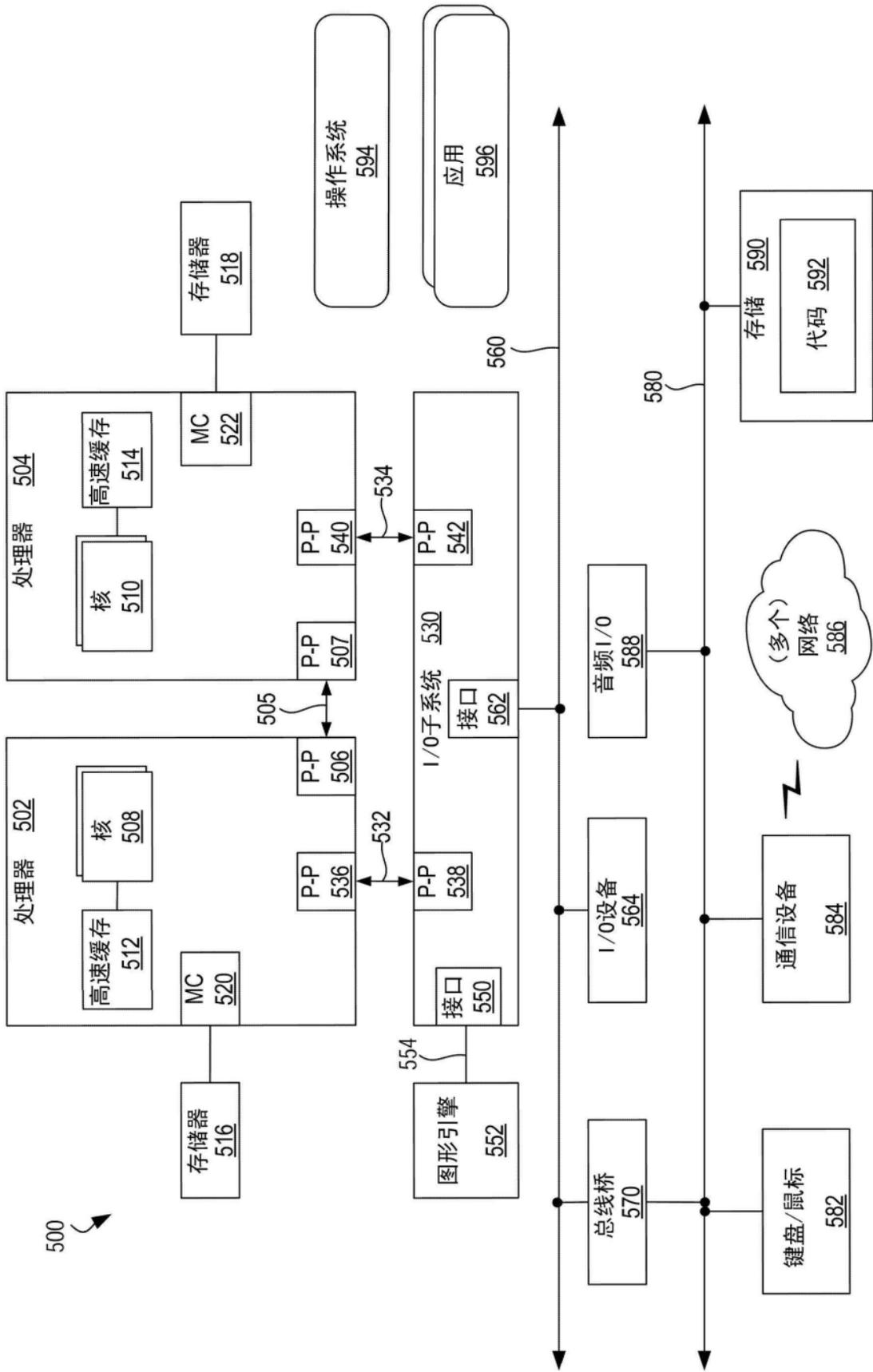


图5

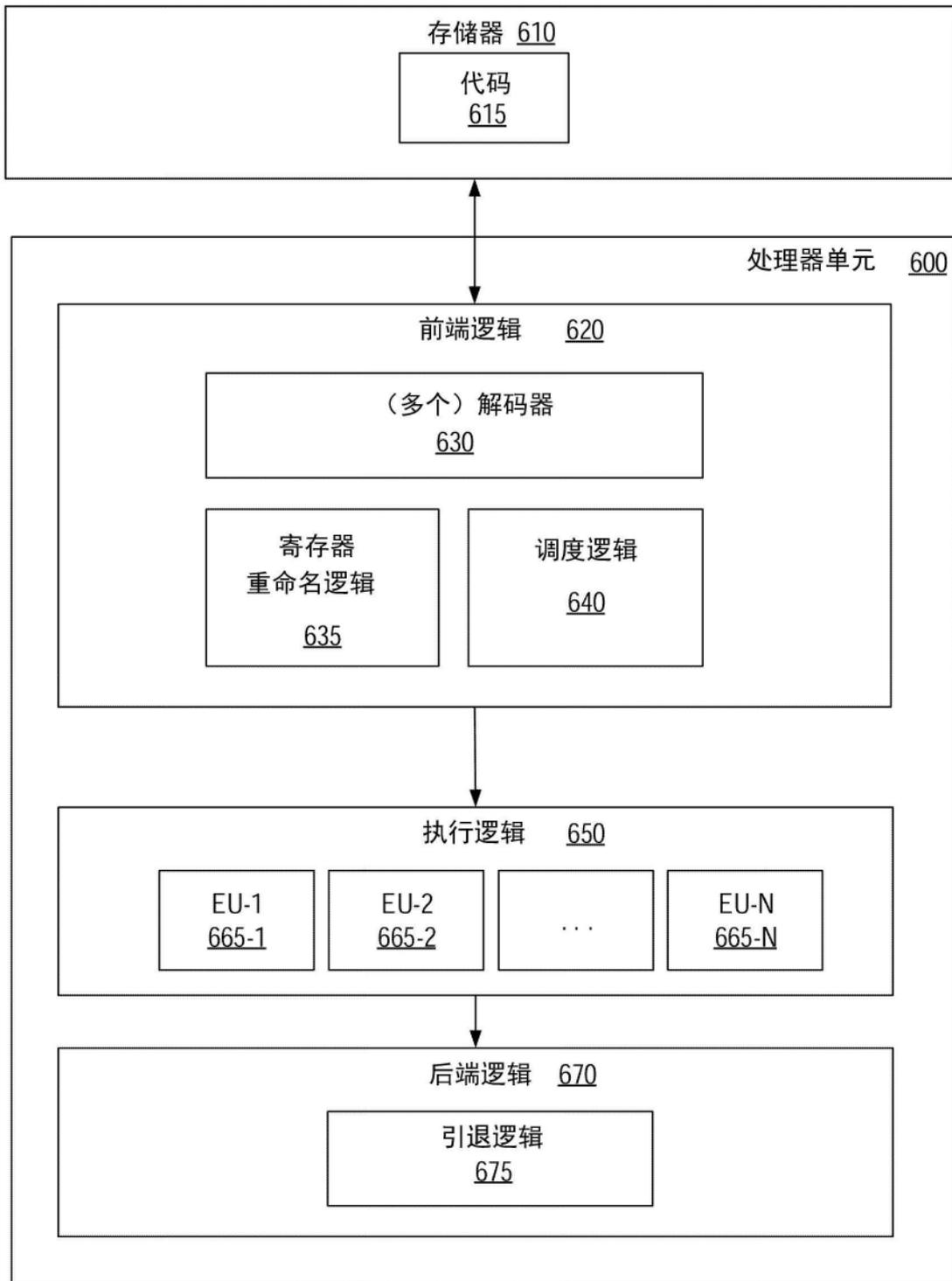


图6