



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108788145 A

(43)申请公布日 2018. 11. 13

(21)申请号 201810399786.7

B33Y 30/00(2015.01)

(22)申请日 2018.04.28

B33Y 50/02(2015.01)

(30)优先权数据

B33Y 10/00(2015.01)

15/582,485 2017.04.28 US

(71)申请人 戴弗根特技术有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 布罗克·威廉·坦恩豪特恩

约翰·拉塞尔·巴克内尔

亚哈·纳吉·艾尔·那加

凯文·罗伯特·辛格

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

代理人 王小衡 王天鹏

(51)Int. Cl.

B22F 3/105(2006.01)

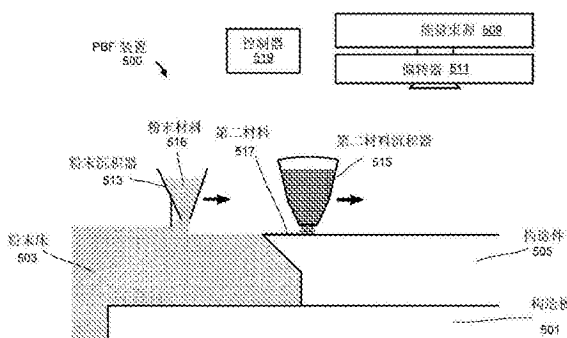
权利要求书3页 说明书16页 附图42页

(54)发明名称

用于增材制造的多材料和打印参数

(57)摘要

提供了用于增材制造系统中的多材料和变化的打印参数的系统和方法。在一个示例中,沉积包括第一粉末材料和与第一粉末材料不同的第二材料的层,使得第一粉末材料的至少第一部分处于没有第二材料的第一区域中。生成能量束并且施加该能量束以在多个位置处熔合所述层。在另一示例中,基于参数的第一子集沉积粉末材料层。基于所述参数的第二子集生成能量束,并且基于所述参数的第三子集施加该能量束以在多个位置处熔合所述层。所述参数中的至少一个被设置为在片打印操作期间具有不同的值。



1. 一种用于粉末床熔合的装置,包括:

沉积器,其沉积包括粉末材料和与所述粉末材料不同的第二材料的层,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中;

能量束源,其生成能量束;以及

偏转器,其施加所述能量束以在多个位置处熔合所述层。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述第二材料包括第二粉末材料。

3. 根据权利要求2所述的装置,其中,所述沉积器还被配置为在所述位置中的一个位置处沉积所述粉末材料的第二部分和所述第二粉末材料的部分,并且所述偏转器被配置为施加所述能量束以在所述位置中的所述一个位置处将所述粉末材料和所述第二粉末材料熔合在一起。

4. 根据权利要求2所述的装置,其中,所述粉末材料包括第一金属,并且所述第二粉末材料包括第二金属。

5. 根据权利要求2所述的装置,其中,所述粉末材料包括具有第一尺寸分布的粉末,并且所述第二粉末材料包括具有与所述第一尺寸分布不同的第二尺寸分布的粉末。

6. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述沉积器还被配置为沉积所述第二材料,使得所述第二材料中的至少部分处于没有粉末材料的第二区域中。

7. 根据权利要求6所述的装置,其中,所述沉积器还被配置为在所述第二区域中沉积所述粉末材料,并且所述沉积器包括粉末去除器,

在所述第二区域中沉积所述第二材料的部分之前,所述粉末去除器将所述粉末材料从所述第二区域中去除。

8. 根据权利要求7所述的装置,其中,所述粉末去除器包括从所述第二区域抽吸所述粉末材料的真空。

9. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述沉积器包括沉积所述第二材料的振动器。

10. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述沉积器包括沉积所述第二材料的吹送机。

11. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述沉积器包括沉积所述第二材料的可移动臂。

12. 一种用于粉末床熔合的装置,包括:

沉积器,其基于参数的第一子集来沉积包括粉末材料的层;

能量束源,其基于所述参数的第二子集生成能量束;

偏转器,其基于所述参数的第三子集施加所述能量束以在多个位置处熔合所述层;以及

控制器,其将所述参数中的至少一个设置为在时间段期间的第一时间具有第一值,并且在所述时间段期间具有与所述第一值不同的第二值,所述时间段在粉末的所述层的沉积起始时开始并且在所述位置处的所述层的熔合终止时结束。

13. 根据权利要求12所述的装置,其中,所述参数包括扫描速率参数,并且所述控制器设置所述扫描速率参数的第一值和第二值,使得所述偏转器在所述位置中的第一位置处以第一扫描速率扫描所述能量束,并且在所述位置中的第二位置处以与所述第一扫描速率不同的第二扫描速率扫描所述能量束。

14. 根据权利要求13所述的装置,其中,所述偏转器还被配置为施加所述能量束以在包括所述位置中的第一位置和第二位置的区域中熔合所述粉末材料,所述区域具有外边缘,

所述位置中的所述第一位置比所述位置中的所述第二位置更靠近所述外边缘,并且其中,所述第一扫描速率慢于所述第二扫描速率。

15. 根据权利要求13所述的装置,其中,所述沉积器还被配置为沉积与所述粉末材料不同的第二材料,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中。

16. 根据权利要求12所述的装置,其中,所述参数包括应用束功率参数,并且所述控制器设置所述应用束功率参数的第一值和第二值,使得所述能量束源在所述时间段期间的第一时间以第一功率生成所述能量束,并且在所述时间段期间的第二时间以第二功率生成所述能量束,所述第一功率与所述第二功率不同。

17. 根据权利要求16所述装置,其中,所述沉积器还被配置为沉积与所述粉末材料不同的第二材料,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中。

18. 根据权利要求16所述的装置,其中,所述偏转器还被配置为在所述位置中的第一位置处以第一扫描速率扫描所述能量束,并且在所述位置中的第二位置处以与所述第一扫描速率不同的第二扫描速率扫描所述能量束。

19. 根据权利要求18所述的装置,其中,所述沉积器还被配置为沉积与所述粉末材料不同的第二材料,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中。

20. 一种用于粉末床熔合的方法,包括:

沉积包括粉末材料和与所述粉末材料不同的第二材料的层,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中;

生成能量束;以及

施加所述能量束以在多个位置处熔合所述层。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中,所述第二材料包括第二粉末材料。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中,沉积所述层还包括在所述位置中的一个位置处沉积所述粉末材料的第二部分和所述第二粉末材料的部分,并且施加所述能量束以在所述位置中的所述一个位置处将所述粉末材料和所述第二粉末材料熔合在一起。

23. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述粉末材料包括第一金属,并且所述第二粉末材料包括第二金属。

24. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述粉末材料包括具有第一尺寸分布的粉末,并且所述第二粉末材料包括具有与所述第一尺寸分布不同的第二尺寸分布的粉末。

25. 根据权利要求20所述的方法,其中,沉积所述层还包括沉积所述第二材料,使得所述第二材料中的至少部分处于没有所述粉末材料的第二区域中。

26. 根据权利要求25所述的方法,其中,沉积所述层还包括在所述第二区域中沉积所述粉末材料,并且所述方法还包括:在所述第二区域中沉积所述第二材料的部分之前,从所述第二区域中去除所述粉末材料。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中,去除所述粉末材料包括从所述第二区域中抽吸所述粉末材料。

28. 根据权利要求20所述的方法,其中,沉积所述第二材料包括振动所述第二材料。

29. 根据权利要求20所述的方法,其中,沉积所述第二材料包括吹送所述第二材料。

30. 根据权利要求20所述的方法,其中,沉积所述第二材料包括控制可移动臂来沉积所述第二材料。

31. 一种用于粉末床熔合的方法,包括:

基于多个参数的第一子集沉积包括粉末材料的层;

基于所述参数的第二子集生成能量束;

基于所述参数的第三子集施加所述能量束以在多个位置处熔合所述层;以及

将所述参数中的至少一个设置为在时间段期间的第一时间具有第一值并在所述时间段期间具有与所述第一值不同的第二值,所述时间段在所述粉末层的沉积的起始时开始并且在所述多个位置处的所述层的熔合的终止时结束。

32. 根据权利要求31所述的方法,其中,所述参数包括扫描速率参数,并且设置所述参数中的至少一个包括设置所述扫描速率参数的第一值和第二值,使得施加所述能量束包括在所述位置中的第一位置处以第一扫描速率扫描所述能量束并在所述位置中的第二位置处以与所述第一扫描速率不同的第二扫描速率扫描所述能量束。

33. 根据权利要求32所述方法,其中,扫描所述能量束包括施加所述能量束以在包括所述位置中的第一位置和第二位置的区域中熔合所述粉末材料,所述区域具有外边缘,所述位置中的所述第一位置比所述位置中的所述第二位置更靠近所述外边缘,并且其中,所述第一扫描速率与所述第二扫描速率不同。

34. 根据权利要求32所述的方法,其中,沉积所述层包括沉积与所述粉末材料不同的第二材料,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中。

35. 根据权利要求31所述的方法,其中,所述参数包括应用束功率参数,并且设置所述参数中的至少一个包括设置所述应用束功率参数的第一值和第二值,使得生成所述能量束包括在所述时间段期间的第一时间以第一功率生成所述能量束,并且在所述时间段期间的第二时间以第二功率生成所述能量束,所述第一功率与所述第二功率不同。

36. 根据权利要求35所述的方法,其中,沉积所述层包括沉积与所述粉末材料不同的第二材料,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中。

37. 根据权利要求35所述的方法,其中,引导所述能量束包括在所述位置中的第一位置处以第一扫描速率扫描所述能量束,并在所述位置中的第二位置处以与所述第一扫描速率不同的第二扫描速率扫描所述能量束。

38. 根据权利要求37所述的方法,其中,沉积所述层包括沉积与所述粉末材料不同的第二材料,使得所述粉末材料中的至少部分处于没有所述第二材料的区域中。

用于增材制造的多材料和打印参数

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 此申请要求于2017年4月28日提交的且题为“MULTI-MATERIALS AND PRINT PARAMETERS FOR ADDITIVE MANUFACTURING”的美国临时专利申请号15/582,485的权益,通过引用将其全部内容明确地并入本文。

技术领域

[0003] 本公开总体涉及增材制造系统,并且更具体地涉及增材制造系统中的多材料和打印参数。

背景技术

[0004] 增材制造(additive manufacturing,“AM”)系统(也被描述为3-D打印系统)可以生产具有几何学上复杂形状的结构(被称为构造件),包括用常规制造过程难以或不可能创建的一些形状。AM系统(诸如粉末床熔合(powder-bed fusion,PBF)系统)逐层地创建构造件。通过沉积粉末层并将该粉末的部分暴露于能量束而形成每个层或‘片(slice)’。施加能量束来熔化与层中的构造件的横截面相一致的粉末层的区域。熔化的粉末冷却并熔合以形成构造件的片。该过程可以被重复以形成构造件的下一片,以此类推。每个层被沉积在先前层的顶部上。所得到的结构是从头开始逐片组装的构造件。

[0005] PBF系统基于各种系统参数(诸如束能量、扫描速率、沉积的粉末层厚度等)打印构造件的片。可以在打印运转之间(即,在构造件被完整打印之后)进行对各种参数的调整。例如,较高的束功率可以被用于打印下一构造件。

发明内容

[0006] 将在下文中更全面地描述用于AM系统中的多材料和打印参数的装置和方法的若干方面。

[0007] 在各种方面,用于粉末床熔合的装置可以包括沉积器、生成能量束的能量束源和施加能量束以在多个位置处熔合层的偏转器,所述沉积器沉积包括粉末材料和不同于所述粉末材料的第二材料的层,使得粉末材料的至少部分处于没有第二材料的区域中。

[0008] 在各种方面,一种用于粉末床融合的装置可以包括:沉积器,其基于参数的第一子集沉积包括粉末材料的层;能量束源,其基于所述参数的第二子集生成能量束;偏转器,其基于所述参数的第三子集施加能量束以在多个位置处熔合所述层;以及控制器,其将参数中的至少一个设置为在时间段期间的第一时间具有第一值,并且在该时间段期间具有不同于第一值的第二值,该时间段在粉末层的沉积起始时开始,并且在这些位置处的层的熔合终止时结束。应该指出的是,子集可以包括单个参数。

[0009] 在各种方面,一种用于粉末床熔合的方法可以包括:沉积包括粉末材料和不同于该粉末材料的第二材料的层,使得该粉末材料的至少部分处于没有第二材料的区域中;生成能量束;以及施加能量束以在多个位置处熔合所述层。

[0010] 在各种方面,一种用于粉末床熔合的方法可以包括:基于多个参数的第一子集来沉积包括粉末材料的层;基于所述参数的第二子集生成能量束;基于所述参数的第三子集施加能量束以在多个位置处熔合所述层;以及将所述参数中的至少一个设置为在时间段期间的第一时间具有第一值,并且在该时间段期间具有不同于第一值的第二值,该时间段在粉末层的沉积起始时开始,并且在这些位置处的层的熔合终止时结束。

[0011] 其他方面根据下面的详细描述对于本领域技术人员来说将变得显而易见,其中,通过图示仅示出和描述了几个实施例。如本领域技术人员将意识到的那样,本文的概念能够具有其他的和不同的实施例,并且几个细节能够具有各种其他方面的修改,所有这些不脱离本公开。因此,本质上认为附图和详细描述是说明性的而不是限制性的。

附图说明

[0012] 在附图中,现在将通过示例而不是通过限制来在详细描述中呈现各个方面,其中:

[0013] 图1A-图1D示出了不同的操作阶段期间的示例性PBF系统。

[0014] 图2示出了包括多材料和打印参数变化的示例性PBF装置。

[0015] 图3示出了包括具有闭环控制的打印参数和多材料的另一示例性PBF装置。

[0016] 图4A-图4C示出了其中可以在沉积粉末材料之前沉积第二材料的示例性实施例。

[0017] 图5A-图5C示出了其中可以沉积多种材料以在单个层中重叠的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0018] 图6A-图6C示出了其中可以在层中沉积混合材料区域的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0019] 图7A-图7B示出了其中可以在沉积的粉末材料层上沉积第二材料的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0020] 图8A-图8C示出了其中集成的沉积系统可以交替地沉积粉末材料和第二材料的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0021] 图9A-图9B示出了第二材料可以被沉积在去除了粉末的区域中的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0022] 图10是PBF系统中的多材料沉积的示例性方法的流程图。

[0023] 图11A-图11C示出了其中沉积的粉末材料的顶表面的高度可以被改变的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0024] 图12示出了示例性能量施加器的细节。

[0025] 图13A-图13C示出了可以造成下沉变形的束扫描操作。

[0026] 图14示出了由熔合多个、连续的粉末层中的悬垂(overhang)区域中的粉末材料所创建的下沉变形。

[0027] 图15A-图15C示出了其中可以以不同的扫描速率来扫描能量束的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0028] 图16示出了示例性扫描速率参数。

[0029] 图17A-图17C示出了其中可以以不同的束功率施加能量的PBF装置和方法的示例性实施例。

[0030] 图18示出了示例性应用束功率参数。

[0031] 图19是在PBF装置中具有可变的打印参数值的片打印操作的示例性方法的流程图。

[0032] 图20是在PBF装置中具有可变的扫描速率参数值的片打印操作的示例性方法的流程图。

[0033] 图21是在PBF装置中具有可变的束功率参数值的片打印操作的示例性方法的流程图。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图阐述的详细描述旨在提供对本文所公开的概念的各种示例性实施例的描述,并且不旨在表示其中可以实践本公开的仅有的实施例。本公开中使用的术语“示例性”意味着“用作示例、实例或图示”,并且不应该一定被解释为比本公开中呈现的其他示例性实施例更优选或更有利。出于向本领域技术人员提供充分传达概念范围的彻底且完整的公开内容的目的,详细描述包括具体细节。然而,可以在没有这些具体细节的情况下实践本公开。在一些情况下,众所周知的结构和组件可以以框图形式示出,或者完全省略,以避免模糊在整个本公开中所呈现的各种概念。

[0035] 此公开涉及AM系统(诸如粉末床熔合(PBF)系统)中的多材料和打印参数。在当前PBF系统中,可以在打印运转之间进行对各种参数的调整。换言之,在构造件被完整打印之后,可以进行对各种参数的调整。此外,当前PBF系统沉积具有均一材料组分的粉末层。例如,该粉末层可以包括单颗粒尺寸的金属粉末,或者该粉末层可以包括具有不同颗粒尺寸的金属粉末的均一混合物等。换言之,在层中所沉积的材料从一个区域到另一区域并不改变。

[0036] 在此公开中描述的各种示例性实施例中,PBF系统的参数(或多个参数)可以在片打印操作期间在不同时间具有不同的值。例如,能量束的扫描速率可以在跨粉末层的一个区域上较快并且在跨粉末层的另一区域上较慢。在另一示例中,束功率可以在粉末层扫描期间被改变。在又一示例中,可以沉积粉末层,使得该层包括粉末材料和不同于该粉末材料的第二材料,其中粉末材料的至少部分处于没有第二材料的区域中。在片打印操作期间可以具有不同值的PBF系统的参数的一些示例包括粉末层表面高度(例如,层中沉积的材料的顶表面的高度)和影线间隔(hatch spacing,例如,由能量束创建的扫描线之间的间隔)。改变参数的其他方式和沉积多材料层的其他方式根据本公开将变得显而易见。

[0037] 使用多材料层和/或改变打印参数可以提供若干优点,诸如调整打印的构造件的某些物理特性(例如材料性质)的能力,并且打印的构造件的特定区域中的其他特性可以针对特定目的而被优化。例如,将在飞行器中被暴露于高应力的打印的飞行器部件的区域可以通过使用与该部件的其他区域不同的金属粉末混合物(例如金属合金)来打印这些区域而被制作得较坚固。在另一个示例中,可以使用较慢的扫描速率来熔合每片的边缘处的区域,使得加工的构造件的表面可以具有改善的表面光洁度。同样地,通过增大扫描速率来熔合该片的内部中的区域,可以使总扫描时间较短,并且可以提高产量。

[0038] 在各种实施例中,例如,激光熔合的吹制粉末可以与粉末床激光熔合结合使用以创建具有多种材料的构造件。换言之,可以将粉末材料沉积在粉末层中,并且可以用激光束来熔合该层的区域,然后将不同的粉末材料吹制(blow)到熔合的粉末的区域上,同时

通过相同或不同的能量束来熔合该吹制的粉末。当过程温度可兼容时,可以在下一粉末层沉积之前通过吹制粉末沉积将金属、陶瓷或塑料材料添加到粉末床熔合结构中。例如,以此方式,交替的过程可以沉积具有不同材料性质的材料。

[0039] 在各种实施例中,例如,具有大球体粉末的粉末材料可以降低烧结组件的材料密度。例如,出于流体过滤、热传递等目的,可以创建具有降低密度的部分的构造件。具有较大球体的粉末材料的添加可以创建较低密度的局部区域。另外,各种实施例可以包括施加较低功率能量束和/或较高扫描速率,其可以被施加至较大球体粉末材料,以便烧结(而不是熔合)较大球体粉末材料。

[0040] 在各种实施例中,第二材料的沉积可以用机器臂来执行。例如,机器臂可以将第二材料沉积到层中。可以在该层中的不同深度处使用不同量的第二材料。在各种实施例中,机器臂可以沿x、y和z轴横移并且也围绕这些轴旋转。

[0041] 在各种实施例中,机器臂可以配备有用于分配粉末材料的喷嘴和真空抽吸管。该抽吸管可以通过真空抽吸去除初始材料粉末,给予用于待沉积的第二材料一个空间。例如,可以通过声振动来实现第二材料的沉积,使得可以通过控制振动的幅度和频率来仔细地调节由机器臂分配的粉末的量。可以通过在沉积喷嘴的端部附近附接压电致动器来施加声振动。然后用针对第二材料优化的一组参数值来激活能量束。

[0042] 在各种实施例中,可以用喷射型打印机机构在一个道次(pass)或多个道次中沉积液体第二材料。例如,沉积的第二材料可以在熔合之前被干燥。

[0043] 在各种实施例中,使用较慢的扫描速度和改变熔化池来打印在悬垂处或其附近的区域可以特别有利于使用最小的支撑结构来减少或防止部件变形(例如下沉)。在另一示例中,粉末沉积器可以沉积粉末,使得粉末层的顶表面不均一,例如,具有下降和/或隆起。例如,在其中当粉末被熔合时将发生下沉的区域中,可以沉积较厚的粉末层,以便材料可以在较大的高度下被熔合,使得当下沉发生时,实现期望的最终几何形状。换言之,可以在下沉发生之前沉积额外粉末以补偿下沉。另一方面,对于使用支撑结构的构造,支撑结构可以被打印为相比于实际构造件是易碎的,使得支撑结构可以被容易地去除。

[0044] 图1A-图1D示出了不同的操作阶段期间示例性PBF系统100相应的侧视图。如上面指出的,图1A-图1D中所示出的特定实施例是采用此公开原理的PBF系统的许多合适的示例中的一个。还应注意到的是,图1A-图1D以及此公开中的其他图的要素不一定按照比例绘制,而出于更好图示本文所描述的概念的目的可以被绘制得较大或较小。PBF系统100可以包括:沉积器101,其可以沉积金属粉末的每层;能量束源103,其可以生成能量束;偏转器105,其可以施加能量束以熔合粉末材料;以及构造板107,其可以支持诸如构造件109的一个或多个构造件。PBF系统100还可以包括构造底板111,其被定位在粉末床容器内。粉末床容器的壁112一般限定粉末床容器的边界,该粉末床容器从侧面被夹在壁112之间,并且紧靠下面的构造底板111的部分。构造底板111可以逐渐降低构造板107,使得沉积器101可以沉积下一层。整个机构可以驻留于可以包围其他组件的腔113中,从而保护该装备,使得能够实现大气和温度调节并减轻污染风险。沉积器101可以包括:漏斗115,其容纳诸如金属粉末的粉末117;以及校平器119,其可以校平沉积的粉末的每层的顶部。

[0045] 具体地参照图1A,此图示出了在已经熔合了构造件109的一片之后但在沉积粉末的下一层之前的PBF系统100。事实上,图1A示出了PBF已经在多层(例如,150层)中沉积并

熔合了片以形成构造件109的当前状态(例如,由 150片形成)的时间。已经沉积的多层创建了粉末床121,其包括沉积了但未熔合的粉末。

[0046] 图1B示出了处于其中构造底板111可以降低粉末层厚度123的阶段的PBF系统100。构造底板111的降低造成构造件109和粉末床121下降粉末层厚度 123,使得构造件和粉末床的顶部比粉末床容器壁112的顶部低一个等于粉末层厚度的量。例如,以此方式,可以在构造件109和粉末床121的顶部上方创建具有等于粉末层厚度123的一致厚度的空间。

[0047] 图1C示出了处于其中沉积器101被定位成在构造件109和粉末床121的顶部上方创建的并且由粉末床容器壁112限制边界的空间中沉积粉末117的阶段的PBF系统100。在此示例中,沉积器101可以在所限定的空间上逐渐移动,同时从漏斗115释放粉末117。校平器119可以校平所释放的粉末以形成具有基本上等于粉末层厚度123(参见图1B)的厚度并且具有基本平坦的粉末层顶表面126的粉末层125。因此,可以由粉末材料支撑结构来支撑PBF系统中的粉末,所述粉末材料支撑结构可以包括例如构造板107、构造底板111、构造件109、壁112等。应注意的是,为了清楚起见,所示出的粉末层125的厚度(即粉末层厚度123(图1B))被示出为大于用于上面参照图1A所讨论的包含150先前沉积的层的示例的实际厚度。

[0048] 图1D示出了处于其中在粉末层125的沉积之后(图1C)能量束源103生成能量束127并且偏转器105施加能量束以熔合构造件109中的下一片的阶段的PBF系统100。在各种示例性实施例中,能量束源103可以是电子束源,在该情况下能量束127构成电子束。偏转器105可以包括偏转板,其可以生成选择性地偏转电子束以造成电子束跨指定为要被熔合的区域进行扫描的电场或磁场。在各种实施例中,能量束源103可以是激光器,在该情况下能量束127为激光束。偏转器105可以包括光学系统,其使用反射和/或折射来操纵激光束以扫描待熔合的选定区域。

[0049] 在各种实施例中,偏转器105可以包括一个或多个平衡环(gimbal)和致动器,其可以旋转和/或平移能量束源以定位能量束。在各种实施例中,能量束源 103和/或偏转器105可以调制能量束,例如,当偏转器扫描时开启和关闭能量束,使得能量束仅被施加在粉末层的适当区域中。例如,在各种实施例中,能量束可以由数字信号处理器(DSP)来调制。

[0050] 基于PBF系统的系统参数(本文中也被称为“参数”)来控制PBF系统的操作,诸如沉积粉末层、生成能量束、扫描能量束等。例如,一个参数是由能量束源生成的能量束的功率。在各种PBF系统中,束功率参数可以由例如电子束源的栅极电压、激光束源的瓦特数输出等来表示。参数的另一示例是偏转器的扫描速率,即,偏转器跨粉末层扫描能量束的速度有多快。扫描速率参数可以例如由施加至电子束PBF系统中的偏转板上的偏转电压的变化速率、施加至与激光束PBF系统中的扫描镜相连接的电机上的致动器电机电压等来表示。参数的另一示例是在先前粉末层的顶表面上方的粉末校平器的高度,其可以被表示为例如校平器的延伸距离。

[0051] 在各种实施例中,参数中的至少一个在片打印操作期间(在粉末层的沉积起始时开始并在各种位置处的层的熔合终止时结束的时间段)在第一时间具有第一值,并且在片打印操作期间具有不同于第一值的第二值。例如,PBF装置可以包括沉积器,其基于参数的第一子集(粉末校平器高度、沉积的材料组分等)沉积粉末材料的层;能量束源,其基于参数的第二子集(例如,束功率)生成能量束;以及偏转器,其基于参数的第三子集(例如,扫描速率)施加能量束以在多个位置处熔合该层,并且参数中的至少一个在片打印操作期间

可以具有不同的值。

[0052] 图2示出了包括多材料和打印参数变化能力的示例性PBF装置200。图2示出了构造板201、粉末床容器壁204内的粉末床203以及粉末床中的构造件205。沉积器207可以将包括粉末材料材料层沉积在粉末床203中,并且能量施加器210可以施加能量以在沉积的层中熔合粉末材料。沉积器207可以包括各自沉积不同材料的一个或多个单独的沉积器,如下面参照图4A-图4C、图5A-图5C、图6A-图6C、图7A-图7B、图8A-图8C以及图9A-图9B更详细描述的那样。能量施加器210可以包括生成能量束的能量束源211和跨沉积的层扫描能量束的偏转器213。PBF装置200还可以包括控制器214,其可以是例如计算机处理器。PBF装置200还可以包括计算机存储器215,诸如随机存取存储器(RAM)、计算机存储盘(例如,硬盘驱动器、固态驱动器、闪存驱动器)等。控制器214可以将参数216存储在存储器215中。控制器214可以基于参数216来控制PBF装置200的组件。例如,控制器214可以使用参数216来确定扫描速率、束功率等,以形成构造件205的每个片。换言之,控制器214可以控制沉积器207沉积材料层,可以控制能量束源211生成能量束,并且可以控制偏转器213跨沉积的层扫描能量束。

[0053] 参数216可以包括在PBF装置200的片打印操作期间具有两个或更多个不同值的参数(或多个参数)。例如,应用束功率参数可以在打印操作期间的一个时间具有较低的功率值,并且可以在该操作期间的另一时间具有较高的功率。例如,控制器214可以针对粉末层的一个区域(例如,在构造件的非变形区域上)设置较低的应用束功率参数值,并且可以针对粉末层的另一个区域(例如,在构造件的下沉区域上)设置较高的应用束功率参数值。在此示例性实施例中,参数的改变(即,不同的参数值)可以在打印构造件205之前被确定并存储在存储器215中。

[0054] 在各种实施例中,控制器例如可以是共享的处理器,如图2的示例性实施例中所示。在各种实施例中,控制器可以是分布式系统,例如,其中每个组件具有各自的控制器。例如,沉积器可以具有单独的控制,能量束源可以具有单独的控制,偏转器可以具有单独的控制器等。同样地,参数可以被存储在共享的存储器中,可以被存储在与各自组件相关联的各自的存储器中,或者可以是这些方法的组合。

[0055] 图3示出了包括具有闭环控制的多材料和打印参数变化的另一示例性PBF装置300。图3示出了构造板301、粉末床容器壁304内的粉末床303以及粉末床中的构造件305。沉积器307可以将包括粉末材料材料层沉积在粉末床303中,并且能量施加器310可以施加能量以熔合沉积的层中的粉末材料。能量施加器310可以包括生成能量束的能量束源311和跨沉积层扫描能量束的偏转器313。PBF装置300还可以包括控制器314,其可以是例如计算机处理器。PBF装置300还可以包括计算机存储器315,诸如随机存取存储器(RAM)、计算机存储盘(例如,硬盘驱动器、固态驱动器、闪存驱动器)等。存储器315可以存储用于控制PBF装置300的组件的参数316。参数316可以包括在片打印操作期间具有两个或更多个不同值并且在PBF装置300的操作期间可以改变的参数(或多个参数)。控制器314可以使用参数316来确定扫描速率、束功率等,以形成构造片305的每个片。特别地,控制器314可以控制沉积器307沉积材料层,可以控制能量束源311产生能量束,并且可以控制偏转器313跨沉积层扫描能量束。此外,在各种实施例中,控制器314可以通过使用不同的确定出的值或参数类型和/或通过使用不同的确定出的子集或参数组合以所叙述的方式来控制这些组件,以便在

问题(诸如管理悬垂、提高表面光洁度、优化打印速度、优化这些及其他操作的整体组合等)方面针对特定打印操作实现期望结果。

[0056] PBF装置300可以包括传感器321,其获取与层的沉积、粉末材料的熔合等有关的信息。在此示例中,传感器321可以感测关于构造件305的形状的信息。例如,传感器321可以包括光学传感器,诸如照相机。传感器321可以感测构造件305的形状信息323(例如,尺寸测量结果),并且可以将该形状信息发送至控制器314。例如,在构造件305的每个片被能量施加系统309熔合之后,传感器321可以感测在下一粉末材料层被沉积之前的构造件的形状,并且将感测到的形状发送至控制器314。

[0057] 在此示例中,控制器314可以基于从传感器321接收到的信息来改变存储器315中的一个或多个参数316的值。例如,传感器321可以感测构造件305的顶部片的边缘区域中的不规则性,并且控制器314可以在下一片的熔合期间在边缘区域中改变由能量束源311生成的能量束的轨迹,以修正所得到的打印区域的外围形状。以此方式,例如,在下一片的熔合期间,束功率参数可以改变,这是因为束功率在被施加在边缘区域时较高,并且在被施加在下一层的其他区域中时较低。在上面的示例性实施例中,可以基于通过传感器321接收到的反馈信息(导致参数的闭环控制)在PBF装置300的操作期间修改参数。

[0058] 在各种实施例中,传感器可以包括感测熔合的粉末材料的边缘信息的边缘传感器。例如,熔合问题通常可能发生在片的边缘处或其附近。在这些情况下,边缘传感器可以提供关于片的边缘形状的有益信息。

[0059] 在各种实施例中,PBF装置可包括沉积器,其沉积包括粉末材料和第二材料的层,该第二材料使用例如分离的沉积器、集成的沉积器等而不同于该粉末材料。沉积可以以此类方式完成,即在层被沉积之后粉末材料的至少部分处于没有第二材料的区域中。以此方式,例如,PBF装置可以在单层中沉积多种材料,即,该层的材料组分跨该层的不同区域可以是不均一的。

[0060] 现在将描述图4A-图4C、图5A-图5C、图6A-图6C、图7A-图7B、图8A-图8C和图9A-图9B。这些图示出了其中可以在PBF装置的单层中沉积多种材料的装置和方法的各种示例性实施例。

[0061] 图4A-图4C示出了其中可以在沉积粉末材料之前沉积第二材料的示例性实施例。例如,沉积器中的第一组分可以经过工作区域并且将第二材料沉积在期望的区域中,然后沉积器中的另一组分可以经过工作区域并且将粉末层沉积在其余区域中。

[0062] 图4A-图4C示出了其中可以在单个层中沉积多种材料的PBF装置400和方法的示例性实施例。图4A-图4C示出了构造板401和粉末床403。在粉末床403中是构造件405。PBF装置400可以包括能量束源409、偏转器411和沉积器,沉积器包括粉末沉积器413和第二材料沉积器415。粉末沉积器413可以包括粉末材料416,并且第二材料沉积器415可以包括第二材料417。粉末沉积器413和第二材料沉积器415可以由控制器419基于一个或多个参数来控制,如上面参照图2和图3所讨论的。

[0063] 图4A示出了在单个层中沉积多种材料的PBF装置400的示例性操作。第二材料沉积器415可以移动跨过工作区域以在该层的区域中沉积第二材料417。粉末沉积器413可以继第二材料沉积器415之后移动跨过工作区域并将粉末沉积在层的其余区域中。

[0064] 如图4B中所示,在已经沉积第二材料417之后,粉末沉积器413可以继续移动,从而

跨越第二材料。在此例子中,粉末沉积器413可以继续释放粉末,并且粉末沉积器的校平器可以扫过第二材料417的顶表面以将粉末从表面清除。在其他实施例中,例如,粉末沉积器可以在粉末沉积器跨过第二材料时中断粉末的供应。

[0065] 图4C示出了其中第二材料沉积器415已经移动跨过工作区域并且已经完成在当前层中沉积第二材料417的状态。粉末沉积器413可以继续移动跨过工作区域并将粉末沉积在不包括第二材料417的其余区域中。

[0066] 在各种示例性实施例中,第二材料沉积器可以是配置为在该层的期望区域中沉积第二材料的自动化机器臂。在各种示例性实施例中,机器臂可以被内置到PBF装置中,并且像这样,可以在相同处理和定时机构的控制下且与用于沉积第二材料(诸如沉积器413)的其他组件同步地操作。

[0067] 应该注意的是,在图4A-图4C的示例性实施例中,完整的层包括仅粉末材料的区域(即,没有第二材料)和仅第二材料的区域(即,没有粉末材料),因为第二材料被沉积在粉末材料之前。

[0068] 图5A-图5C示出了PBF装置500和方法的示例性实施例,其中可以沉积多种材料以重叠在单个层中。图5A-图5C示出了构造板501和粉末床503。在粉末床503中是构造件505。PBF装置500可以包括能量束源509、偏转器511和沉积器,沉积器包括粉末沉积器513和第二材料沉积器515。粉末沉积器513可以包括粉末材料516,并且第二材料沉积器515可以包括第二材料517。粉末沉积器513和第二材料沉积器515可以由控制器519基于一个或多个参数来控制,如上面参照图2和图3所讨论的。

[0069] 图5A示出了在单个层中沉积重叠材料的PBF装置500的示例性操作。第二材料沉积器515可以移动跨过工作区域,以在该层的区域中沉积第二材料517的薄层。粉末沉积器513可以继第二材料沉积器515之后移动跨过工作区域并且将粉末沉积在该层的其余区域中。

[0070] 如图5B中所示,在第二材料517的薄层已被沉积之后,粉末沉积器513可以继续移动,从而跨过第二材料的薄层。粉末沉积器513可以在第二材料517的薄层上继续释放粉末,以在该层中创建重叠材料521,其包括与第二材料517的区域重叠的粉末材料516的区域。

[0071] 图5C示出了其中第二材料沉积器515已经移动跨过工作区域并且已经完成了在当前层中沉积第二材料517的状态。粉末沉积器513可以继续移动跨过工作区域并且将粉末沉积在不包括第二材料517的其余区域中。

[0072] 注意的是,在图5A-图5C的示例性实施例中,完整的层包括仅粉末材料的区域(即,没有第二材料)和包括粉末材料和第二材料两者(即,重叠材料)的区域。

[0073] 图6A-图6C示出了PBF装置600和方法的示例性实施例,其中可以在层中沉积混合材料区域。图6A-图6C示出了构造板601和粉末床603。在粉末床603中是构造件605。PBF装置600可以包括能量束源609、偏转器611和集成的沉积系统613,其可以沉积粉末材料615和第二材料617。集成的沉积系统613还包括其中可以混合粉末材料615和第二材料617的混合腔618,如下面的图6B中所示。集成的沉积系统613可以由控制器619基于一个或多个参数来控制,如上面参照图2和图3所讨论的。

[0074] 图6A示出了在层中沉积粉末材料615的示例性操作。集成的沉积系统613可以移

动跨过工作区域,以在该层的区域中沉积仅粉末材料615。

[0075] 图6B示出了在层中沉积混合材料621的示例性操作。具体地,集成的沉积系统613可将粉末材料615和第二材料617喷射到混合腔618中,以创建可被沉积在该层中的混合材料621。在各种实施例中,例如,粉末材料615与第二材料617的比率可以被改变,以创建具有不同性质的混合材料。图6C示出了在层中沉积第二材料617的示例性操作。具体地,集成的沉积系统613可以在该层的区域中仅沉积第二材料617。

[0076] 注意的是,在图6A-图6C的示例性实施例中,完整的层包括仅粉末材料的区域(即,没有第二材料)、仅第二材料的区域(即,没有粉末材料)和包括粉末材料和第二材料两者的区域(即,混合材料)。

[0077] 图7A-图7B示出了PBF装置700和方法的示例性实施例,其中第二材料可以被沉积在粉末材料的沉积层上。图7A-图7B示出了构造板701和粉末床703。在粉末床703中是构造件705。PBF装置700可以包括能量束源709、偏转器711和沉积器,该沉积器包括粉末沉积器713和第二材料沉积器714。粉末沉积器可以沉积粉末材料715。在此示例中,第二材料沉积器可以包括喷嘴716,其可以沉积粘性的第二材料717。粉末沉积器713和第二材料沉积器714可以由控制器719基于一个或多个参数来控制,如上面参照图2和图3所讨论的。

[0078] 如图7A中所示,粉末沉积器713可以移动跨过工作区域以沉积粉末层。第二材料沉积器714可以继粉末沉积器713之后移动跨过工作区域。如图7B中所示,第二材料沉积器714可以在某些区域中将第二材料717沉积到由粉末沉积器713沉积的粉末材料上。因为在此示例中第二材料717是粘性材料,所以第二材料可以渗入到粉末材料715中。具体地,第二材料717可以渗入到在粉末材料715的粉末颗粒之间的空间中以形成混合材料721。以此方式,例如,第二材料717可以被沉积在粉末材料715上而不增加粉末层的高度。在各种实施例中,粘性的第二材料可以包括液体、凝胶等。在各种实施例中,可以由跨粉末床跟踪在沉积器713后面的打印头来施加粘性的第二材料。

[0079] 在各种实施例中,通过例如减少颗粒散射(也称为“发烟(smoking)”),可以将沉积在粉末材料区域中的液体或凝胶用作熔合辅助剂(fusing aid),以减少与熔合粉末及周围环境和/或粉末床的其他部分的不期望的化学反应。在各种实施例中,可以沉积液体第二材料,使得粉末材料被保持在液体的胶态悬浮液或溶液中。

[0080] 注意的是,在图7A-图7B的示例性实施例中,完整的层包括仅粉末材料的区域(即,没有第二材料)和包括粉末材料和仅第二材料两者的区域(即,第二材料渗入的粉末材料的区域)。

[0081] 在各种实施例中,重叠的材料和/或混合材料(诸如上面参照图5A-图5C、图6A-图6C和图7A-图7B描述的那些)可以被熔合,以创建具有与不同于该层中别处熔合区域的材料性质的熔合的材料。例如,该熔合可以使用本文所描述的施加能量束的任何方法来完成,或者可以通过任何其他方法来完成。例如,粉末材料可以包括第一金属,并且第二材料可以是包括第二金属的粉末材料。重叠第一金属粉末和第二金属粉末的区域可以被熔合,并且该熔合可以合并该两种金属以创建合金。在另一示例中,粉末材料可以具有第一尺寸分布,并且第二材料可以包括具有不同于第一尺寸分布的第二尺寸分布的粉末。在另一示例中,粉末材料可以是金属粉末,并且第二材料可以是金属弱化材料。以此方式,例如,支撑结构可以由较容易被去除的弱化金属形成。在另一示例中,熔合第二材料和粉末材料可以创建具

有与单独的熔合的粉末材料不同的电性质的熔合材料。例如，与单独熔合的粉末相比，第二材料的添加可以改变电阻、磁性质等。

[0082] 图8A-图8C示出了PBF装置800和方法的示例性实施例，其中集成的沉积系统可以交替地沉积粉末材料和第二材料。图8A-图8C示出了构造板801和粉末床803。在粉末床803中是构造件805。PBF装置800可以包括能量束源809、偏转器811和集成的沉积系统813，其可以沉积粉末材料815和第二材料817。集成的沉积系统813可以由控制器819基于一个或多个参数来控制，如上面参照图2和3所讨论的。

[0083] 图8A示出了在该层中沉积粉末材料815的示例性操作。集成的沉积系统813可以移动跨过工作区域，以在该层的区域中沉积仅粉末材料815。

[0084] 图8B示出了在该层中沉积仅第二材料817的示例性操作。在此示例中，集成的沉积系统813沉积第二材料817以将另一层添加到支撑结构821，该支撑结构821将支撑后续层中的构造件803的悬垂。第二材料可以是例如泡沫、陶瓷等，其可以在悬垂区域中为熔合的粉末材料提供支撑，并且也可以在构造件完成之后被容易地移除。图8C示出了在该层中沉积第二材料817之后沉积仅粉末材料815的示例性操作。

[0085] 注意的是，在图8A-图8C的示例性实施例中，完整的层包括仅粉末材料的区域（即，没有第二材料）和仅第二材料的区域（即，没有粉末材料），这是因为粉末材料和第二材料被交替地沉积。

[0086] 图9A-图9B示出了PBF设备900和方法的示例性实施例，其中，可以沉积粉末材料层，可以去除粉末材料的一部分，并且可以将第二材料沉积在去除粉末的区域中。在此示例中，粉末沉积器可以沉积粉末材料层，然后罐中的真空将粉末材料从应该没有粉末材料的区域中去除。然后可以用第二材料填充空出的区域。在各种实施例中，可以使用其他基于机械的粉末去除手段。

[0087] 图9A-图9B示出了构造板901和粉末床903。在粉末床903中是构造件905。PBF装置900可以包括能量束源909、偏转器911和沉积器，该沉积器包括粉末沉积器913和第二材料沉积器914。粉末沉积器可以沉积粉末材料915，并且第二材料沉积器914可以沉积第二材料917。第二材料沉积器914可以包括真空919和材料喷嘴921。粉末沉积器913和第二材料沉积器914可以由控制器923基于一个或多个参数来控制，如上面参照图2和3所讨论的。

[0088] 图9A示出了PBF装置900的示例性操作，其中粉末沉积器913移动跨过工作区域并沉积粉末层，并且第二材料沉积器914在沉积器后面按序移动跨过工作区域。此实例中的第二材料沉积器914被配置为使用真空机构将粉末材料沉积物从工作区域的指定部分中去除，并同时或之后立即将第二材料917沉积到指定的部分上。在图9A中，第二材料沉积器914是可操作的，但由于其在工作区域上的确定位置而未被显示为被激活以执行其功能。图9B示出了其中第二材料沉积器914在其中第二材料917应该被沉积的区域上方经过的稍后状态的示例。当第二材料沉积器914在该区域上方经过时，真空919可以经由抽吸去除沉积的粉末，并且材料喷嘴921可以在该区域中沉积第二材料917。

[0089] 注意的是，在图9A-图9B的示例性实施例中，完整的层包括仅粉末材料的区域（即，没有第二材料）和仅第二材料的区域（即，没有粉末材料），这是因为将沉积的粉末材料从区域去除以创建没有粉末材料的空间。

[0090] 在各种实施例中，可以一次去除粉末材料的多层。例如，在粉末材料的多层已经被

沉积在构造板上之后,真空可以去除多层中的粉末材料,以创建向下延伸至构造板的孔。第二种材料可以被沉积在该孔中,因此将孔填充达至当前层的顶表面。以此方式,例如,粉末材料去除操作不需要逐层地执行,而是可以在已经沉积了足够数量的粉末材料层时执行。

[0091] 在其中沉积第二材料的各种实施例中,诸如在图4A-图4C、图5A-图5C、图6A-图6C、图7A-图7B、图8A-图8C和图9A-图9B的示例性实施例中,可以通过振动第二材料(例如用可以更均匀地分配第二材料的振动漏斗)来沉积第二材料。在各种实施例中,可以通过例如从可以由一段管附接到第二材料的容器的喷嘴喷雾器吹送第二材料来沉积第二材料。以此方式,例如,第二材料的容器可以在喷嘴移动跨过工作区域的同时保持静止。在各种实施例中,喷嘴可以通过可移动臂移动跨过工作区域以沉积第二材料。

[0092] 在各种实施例中,可以通过例如本文所描述方法中的任一个或另一方法来熔合包括第二材料的区域。在各种实施例中,包括第二材料的区域可以不被熔合。此外,应该理解的是,各种实施例不限于沉积第二材料,而也可以使用类似于本文所描述的那些的技术在各种不同的层的区域中沉积第三材料、第四材料等。

[0093] 图10是PBF装置中的多材料放置的示例性方法的流程图。PBF装置可以沉积(1001)包括粉末材料和第二材料的层。换言之,可以沉积包括第一粉末材料和不同于第一粉末材料的第二材料的层,使得第一粉末材料的至少第一部分处于没有第二材料的第一区域中。PBF装置可以生成(1002)能量束并且可以施加(1003)能量束以在多个位置处熔合层。

[0094] 现在将讨论图11A-图11C、图12、图13A-图13C、图14、图15A-图15C、图16和图17-图21。这些图示出了在其中PBF装置的参数(或多个参数)在片打印操作期间可以具有不同值的装置和方法的示例性实施例。

[0095] 图11A-图11C示出了PBF装置1100和方法的示例性实施例,其中,可以基于粉末高度参数的变化在粉末层中改变沉积的粉末材料的顶表面的高度。图11A-图11C示出了构造板1101和粉末床1103。在粉末床1103中是构造件1105。PBF设备1100可以包括能量束源1109、偏转器1111和粉末沉积器1113,粉末沉积器1113沉积粉末材料1115。粉末沉积器1113可以包括高度可变的校平器1117,该校平器1117可以延伸和收缩以在不同高度处校平沉积的粉末。粉末沉积器1113可以由控制器1119基于一个或多个参数来控制,如上面参照图2和图3所讨论的。在此示例中,一个或多个参数可以是粉末高度参数,诸如校平器高度。

[0096] 图11A示出了PBF装置1100在产生了具有用于大多数熔合操作的标准厚度的粉末层的高度处沉积粉末材料的示例性操作。特别地,高度可变的校平器1117可以被设置为在产生粉末层的标准厚度的高度处校平粉末材料的延伸长度,并且粉末沉积器1113可以移动跨过工作区域而沉积粉末材料,以产生参照若干先前实施例所描述的期望的厚度。

[0097] 图11B示出了被控制器1119引导以在产生比标准厚度更厚的粉末层的较高高度处沉积粉末材料的PBF装置1100的示例性操作。特别地,当粉末沉积器1113到达其中较厚粉末层要被沉积的区域时,控制器1119可暂时地配置高度可变的校平器收缩(例如,缩短),使得经校平的粉末材料的高度被相应地增加。以此方式,例如,粉末层在某些区域可以比其他区域更高。

[0098] 图11C示出了其中粉末沉积器1113已经移动经过较厚粉末材料的区域并且高度可变的校平器已经延伸回到原始配置以在产生标准粉末层厚度的高度处校平粉末材料的状态。通过收缩高度可变的校平器产生的较厚的粉末层的区域被示出为较厚的粉末层部分

1121。

[0099] 注意的是,在各种实施例中,诸如用高度可变的校平器改变沉积的粉末层的顶表面的高度的能力可以允许在该层中的没有粉末材料的区域的创建。例如,高度可变的校平器可以延伸以在粉末材料层的表面中创建下降。该下降可以是例如浅或深的。

[0100] 图12示出了示例性能量施加器的细节。在此示例中,能量束是电子束。能量束源可以包括电子栅极(electron grid)1201、电子栅极调制器1203和聚焦器(focus)1205。控制器1206可以基于诸如控制束功率的栅极电压等的各种参数来控制电子栅极1201和电子栅极调制器1203以生成电子束1207,并且可以基于诸如控制束功率聚焦的聚焦电压等的各种参数来控制聚焦器1205以将电子束1207聚焦为经聚焦的电子束1209。为了在图中提供更清晰的视图,控制器1206与其他组件之间的连接未示出。经聚焦的电子束1209可以通过偏转器1213跨粉末层1211扫描。偏转器1213可以包括两个x偏转板1215和两个y偏转板1217,其中的一个在图12中被遮住。控制器1206可以控制偏转器1213在x偏转板1215之间生成电场以使经聚焦的电子束1209沿x方向偏转,并且在y偏转板1217之间生成电场以使经聚焦的电子束1209沿y方向偏转。控制器1206可以基于诸如控制电子束的扫描速率的偏转电压速率等的各种参数来控制偏转器1213。各种参数可以被存储在存储器(未示出)中。在各种实施例中,偏转器可以包括一个或多个磁线圈以偏转电子束。

[0101] 束传感器1219可以感测经聚焦的电子束1209的偏转量,并且可以将此信息发送至控制器1206。控制器1206可以使用此信息来调整电场的强度,以便实现期望的偏转量。可以通过扫描经聚焦的电子束来熔化松散的粉末1221而将经聚焦的电子束1209施加至粉末层1211,从而形成熔合的粉末1223。在层的扫描期间,上面所讨论的参数(或多个参数)中的一个根据各种实施例可以具有不同的值。

[0102] 图13A-图13C示出了可以导致下沉变形的束扫描操作。PBF装置1300包括构造板1301,在其上在粉末床1305中形成构造件1303。粉末床1305包括粉末层1307。构造件1303的一部分包括悬垂区域1309。PBF装置1300还包括能量束源1313和偏转器1315。控制器1317可以基于存储器(未示出)中所存储的参数来控制能量束源1313和偏转器1315的操作。

[0103] 在此示例中,PBF装置1300的参数不改变。因此,图13B-图13C示出了通过以恒定的扫描速率扫描能量束的粉末的熔合。

[0104] 图13B示出了通过以恒定扫描速率扫描能量束1319来将粉末层1307的一部分中的粉末熔合在悬垂区域1309中。出于说明能量束正在移动的目的,扫描能量束1319在图中被显示为两个能量束。然而,应该理解的是,仅扫描单个能量束。应该注意的是,本公开中的其他图同样使用两个能量束来说明扫描运动。

[0105] 如图13B中所示,悬垂区域1309中的熔合的粉末材料的一部分可以在粉末层1307的底部下方下沉。例如,此下沉可以归因于熔化的粉末材料比下方松散的粉末更致密的事实。在一些情况下,快速扫描速率可加剧下沉。在此情况下,使用较慢的扫描速率可以允许通过给予悬垂区域额外的时间以熔合并固化来减少或防止下沉。换言之,使用较慢的扫描速率可以提高所得到的构造件的质量。

[0106] 图13C示出了通过使扫描能量束1319返回到恒定扫描速率而对在悬垂区域1309的外部的粉末层1307的部分中的粉末的熔合。如图13C中所示,用于悬垂区域外部的粉末层部分的扫描速率不引起下沉。在此情况下,使用较慢的扫描速度将不提高所得到的构造件

的质量, 但将增加打印时间。

[0107] 在图13A-图13C的示例中, 以恒定的扫描速率扫描需要进行设计选择。在一方面, 较慢的扫描速率可以被用于在悬垂区域中产生较少的下沉, 从而提高悬垂区域的构造质量。然而, 较慢的扫描速率将增加打印时间, 并且将不提高构造件其他部分的质量。在另一方面, 较快的扫描速率 (诸如图中所示的扫描速率) 可以被用于以悬垂区域中的构造质量为代价来减少打印时间。

[0108] 而且, 图13A-图13C示出了仅在构造件1303的一片中发生下沉。然而, 在一些构造件中, 存在于多个重叠层中的悬垂区域可以导致在多个层上方的下沉加重, 这会进一步降低构造质量。

[0109] 例如, 图14示出了通过将粉末材料熔合在多个、连续的粉末层的悬垂区域中而创建的下沉变形。图14示出了构造板1401和粉末床1403。在粉末床1403中是构造件1405。出于比较的目的, 期望的构造件轮廓1407由虚线示出。构造件1405在大多数地方 (即, 没有变形的地方) 与期望的构造件轮廓1407重叠。因此, 在到悬垂边界1410右侧的区域中, 表征构造件1405的实线与期望的构造件轮廓1407中限定的虚线重叠。然而, 下沉变形发生在悬垂区域1409中。在此示例中, 悬垂区域1409由在彼此顶部上熔合的多个片形成。在此情况下, 随着悬垂区域1409从构造件1405的主体延伸更远, 变形可能逐渐恶化。

[0110] 应该注意的是, 在其中一层中的粉末被熔合在下方层中的片的边缘附近的区域中可以发生诸如变形、较高的残余应力等的一些问题, 即使熔合并不直接发生在松散的粉末上方也是如此。例如, 当在下方片的边缘附近熔合粉末时可以导致未意料的高温, 这是因为存在较少的将热量传导带走的下方熔合的材料。在下方片形成尖锐边缘情况下, 这些问题可以是特别严重的。

[0111] 图15A-图15C示出了PBF装置1500和方法的示例性实施例, 其中, 能量束可以在层中的第一位置处以第一扫描速率来扫描并且在该层中的不同位置处以不同于第一扫描速率的第二扫描速率来扫描。例如, 可以在悬垂区域的位置处以较快的扫描速率扫描能量束以减少下沉, 并且可以在悬垂区域外部的的位置处以较慢的扫描速率扫描能量束。特别地, 扫描速率影响施加至区域的能量的总量。例如, 较快的扫描速率将较少的总能量施加至该区域, 而较慢的扫描速率将更多的总能量施加到该区域。

[0112] 图15A示出了PBF装置1500, 其包括构造板1501, 在该构造板1501上在粉末床1505中形成构造件1503。粉末床1505包括粉末层1507。构造件1503的一部分包括悬垂区域1509。PBF装置1500还包括能量束源1513和偏转器1515。控制器1517可以设置各种参数的值并将这些参数存储在存储器 (未示出) 中, 并且可以基于存储器中所存储的参数来控制能量束源1513和偏转器1515的操作。

[0113] 图15B示出了通过以较快的扫描速率的较快扫描能量束1519而对悬垂区域1509中的粉末层1507的一部分中的粉末进行融合。在此情况下, 可以将扫描速率参数 (诸如偏转电压变化率) 设置为等于较快扫描速率的值。以此方式, 例如, 可以以减少的或可忽略的下沉来完成在悬垂区域1509中粉末材料的熔合。

[0114] 图15C示出了通过以较慢的扫描速率的较慢扫描能量束1521而对悬垂区域1509外部的粉末层1507的部分中的粉末的熔合。在此情况下, 可以将扫描速率参数 (诸如偏转电压变化率) 设置为等于较快扫描能量束1519更慢的扫描速率的值。因此, 扫描速率参数可

以在粉末层1507的扫描期间改变。以此方式,例如,可以施加能量束以熔合具有外边缘的区域中的粉末材料,并且可以在较靠近外边缘的位置处以比较远离外边缘的位置处的能量束的扫描速率更快的扫描速率来扫描能量束。

[0115] 图16示出了PBF设备1500的示例性扫描速率参数。具体地,图16示出了在图15B-图15C中所示的能量束的扫描操作期间扫描速率参数如何可以具有不同的值。在此示例中,扫描速率参数是x偏转电压速率参数1600。控制器1517 可以基于x偏转电压速率参数1600来控制能量束的扫描速率。更具体地,控制器1517可以使用x偏转电压速率参数1600来确定多快地改变施加至偏转板(诸如图12中的x偏转板1215)的x偏转电压1601以偏转能量束。

[0116] 图16示出了x偏转电压速率参数1600随时间(图15B-图15C的示例中从扫描的起始到扫描终止)推移的曲线图。在此示例中,扫描在粉末床1505的左侧(如图中所示)开始并且向右跟踪、跨越悬垂区域1509并且在构造件1503 的其余部上继续。在扫描的起始时,将x偏转电压速率参数1600设置为较低的电压速率参数值,其等于PBF装置1500的较慢扫描速率。当能量束到达悬垂区域1509时,x偏转电压速率参数1600变为较高电压速率参数值,使得跨越悬垂区域以较快的扫描速率扫描能量束,示出为图15B中的较快扫描能量束1519。当能量束到达悬垂区域1509的末端时,x偏转电压速率参数1600变回到较低的电压速率参数值,使得跨越构造件1503的其余部以较慢的扫描速率扫描能量束,示出为图15C中的较慢扫描能量束1521。

[0117] 图16还示出了x偏转电压1601的曲线图,以说明如何基于x偏转电压率参数1600来控制x偏转电压。从扫描起始到能量束开始跨越悬垂区域1509扫描的时间,x偏转电压1601增加对应于较低的电压速率参数值的速率,即,在这段时间内x偏转电压曲线的斜率对应于较低的电压速率。当能量束开始跨越悬垂区域1509扫描时,x-偏转电压曲线的斜率改变,即,线的斜率被增加以对应于较高的电压速率参数值。当能量束完成跨越悬垂区域1509扫描时,x-偏转电压曲线的斜率减小以对应于较低的电压速率参数值。在各种实施例中,可以在PBF装置1500的打印操作之前将x偏转电压速率参数1600的值存储在存储器中。在各种实施例中,可以在打印操作期间例如基于反馈信息(诸如片边缘信息、下沉检测等)来修改x偏转电压参数1600的值。

[0118] 图17A-图17C示出了PBF装置1700和方法的示例性实施例,其中,可以基于应用束功率参数的不同值,在第一时间以第一功率用能量束将能量施加至粉末材料的层,并且在第二时间施加第二功率能量。在此示例中,不同的束功率的使用可以帮助缓解在构造件的先前层中已发生的下沉。

[0119] PBF装置1700包括构造板170,在构造板1701上在粉末床1705中形成构造件1703。粉末床1705包括具有期望的粉末层厚度1709的粉末层1707。粉末层1707的一部分具有较厚的粉末层厚度1711,其在构造件1703的下沉部分上方,并且因此,比期望的粉末层厚度1709更厚。PBF装置1700还包括能量束源1713和偏转器1715。控制器1717可以基于参数(诸如应用束功率参数)来控制能量束源1713和偏转器1715,所述参数可以由控制器1717设置并存储在存储器(未示出)。在此示例中,应用束功率参数可以具有较高的值以在构造件 1703的下沉部分上方补偿粉末层1707的增加的厚度,并且在熔合其他区域时可以具有较低的值。更具体地,应用束功率参数可以具有等于较高功率束的值和等于较低功率束的值。

[0120] 图17B示出了使用被设置为较高束功率的应用束功率参数对具有较厚粉末层厚度

1711的粉末层1707的部分中的粉末的熔合。具体地,为了熔合具有较厚粉末层厚度1711的粉末层1707的部分,控制器1717指示能量束源1713基于较高的应用束功率参数值来增加束功率,以当在粉末层的较厚部分上扫描时实现较高功率的能量束1719。以此方式,例如,可以将更多的能量施加至具有较厚的粉末层厚度1711的粉末层1707的部分,使得粉末可以被完全熔合。

[0121] 图17C示出了对具有期望的粉末层厚度1709的粉末层1707的部分中的粉末的熔合。在此情况下,控制器1717可以指示能量束源1713基于较低的应用束功率值来降低束功率以实现较低功率能量束1721,其可以是用于完全熔合具有期望粉末层厚度1709的粉末的束功率。

[0122] 图18示出了PBF装置1700的示例性应用束功率参数1800。具体地,图18 示出了应用束功率参数1800在由图17B-图17C中示出的能量束熔合粉末材料期间如何改变。控制器1717可以基于应用束功率参数1800来控制能量束的应用束功率。换言之,控制器1717可以使用应用束功率参数1800来确定由能量束源1713在施加能量束的时间段(即,不关闭)期间生成的能量束的功率。例如,当被用于熔合粉末和/或其他操作(诸如加热粉末床的部分而不熔合、通过以低功率施加能量束来控制熔合的粉末的冷却速率等)时,能量束被施加。

[0123] 应用束功率参数的一个示例是电子束源的栅极电压,诸如图12中的电子栅极1201和电子栅极调制器1203。在此情况下,例如,控制器可以基于应用束功率参数值来控制栅极电压。

[0124] 图18示出了x偏转电压1801的曲线图,以说明在此示例中扫描速率不变(然而,在各种实施例中,扫描速率和应用束功率均可以改变)。控制器1717 可以通过向偏转板(诸如图12中的x偏转板1215)施加x偏转电压来扫描能量束。在此示例中,扫描在粉末床1705的左侧(如图中所示)开始并且向右跟踪,跨过较厚的粉末层厚度1711区域,并在构造件1703的其余部分上方继续。从扫描的起始至扫描的终止,控制器1717以恒定的扫描速率扫描能量束,即,x 偏转电压的斜率不变。

[0125] 图18还示出了应用束功率参数1800随时间(图17B-图17C的示例中从扫描的起始到扫描终止)推移的曲线图。在扫描起始时,控制器1717可以保持束功率关闭(即,零功率),这是因为能量束正在不要被熔化的粉末床1705的区域上方扫描。在这方面,应该理解的是,不存在与时间段(在其期间能量束关闭)相关联的应用束功率参数值。当能量束到达较厚的粉末层厚度1711区域(即,在此粉末层中的粉末熔合开始)时,控制器1717可以从存储器中读取应用束功率参数1800的值。在此示例中,应用束功率是高的束功率值,并且控制器1717可以控制能量束源1713在束正在熔合较厚的粉末层厚度区域中的粉末材料时生成高功率能量束,其在示出为图17B中的较高功率能量束1719。当能量束到达较厚的粉末层厚度1711区域的末端时,控制器1717可以从存储器读取应用束功率参数1800的值,并且读取到的应用束功率参数值是不同的值,即,低束功率值。因此,控制器1717可以控制能量束源1713在束正在熔合构造件1703的其余部分中的粉末材料时生成低功率能量束,其被示出图17C中的较低功率能量束1721。以此方式,例如,粉末层1707中的粉末材料的熔合可以基于应用束功率参数1800的多个值,例如,较低的束功率和较高的束功率被用于熔合层中的粉末材料。换言之,可以在粉末层中施加多个非零束功率。当能量束到达构造件的末端(未示出)时,控制器1717可以关闭束功率。

[0126] 在各种实施例中,应用束功率参数1800的值可以由控制器来设置并且在 PBF装置1700的打印操作之前被存储在存储器中。在各种实施例中,可以例如由控制器并基于反馈信息(诸如片边缘信息、下沉检测等)在打印操作期间修改应用束功率参数1800的值。

[0127] 尽管图16和图18的示例性实施例以及本文所描述的其他示例性实施例示出了其中在片打印操作期间顺序地施加参数的不同值(即,一个紧接着另一个)的示例,但应该理解的是,参数的不同值可以被非顺序地施加。例如,在粉末层的一个区域中,可以使用较低的应用束功率来熔合构造件,能量束可以在被扫描至粉末层的另一个区域的同时被关闭,并且在其他区域中,可以以较高的应用束功率将能量束施加至构造件。

[0128] 图19是在PBF装置中具有可变的打印参数的片打印操作的示例性方法的流程图。PBF装置可以将参数(或多个参数)设置(1901)为在片打印操作期间具有不同的值。换言之,PBF装置可以将参数(或多个参数)设置为在时间段期间的第一时间具有第一值并且在该时间段期间具有不同于第一值的第二值,其中所述时间段在粉末层的沉积起始时开始并在该层的熔合终止时结束。PBF装置可以基于参数的第一子集来沉积(1902)粉末材料的层。PBF装置可基于参数的第二子集生成(1903)能量束,并且可以基于参数的第三子集施加(1904)能量束以在多个位置处熔合层。

[0129] 图20是在PBF装置中具有可变的扫描速率参数值的片打印操作的示例性方法的流程图。PBF装置可以沉积(2001)粉末材料的层并且可以生成(2002)能量束。PBF装置可以通过在粉末层中的第一位置处以第一扫描速率扫描光束来施加(2003)能量束。PBF装置可以通过在粉末层中的第二位置处以第二扫描速率扫描束来施加(2004)能量束。

[0130] 图21是在PBF装置中具有可变的束功率参数值的片打印操作的示例性方法的流程图。PBF装置可以沉积(2101)粉末材料的层。PBF装置可以以第一功率生成(2102)能量束并且可以在第一时间以第一功率来施加(2103)能量束。PBF装置可以以第二功率生成(2104)能量束并且可以在第二时间以第二功率来施加(2105)能量束。

[0131] 应该理解的是,各种实施例可以包括本文所描述的示例性实施例的组合。例如,可以用多种材料来沉积粉末层,并且然后使用不同的扫描速率和/或应用束功率等来熔合粉末层。

[0132] 提供先前的描述以使本领域的任何技术人员能够实践本文所描述的各种方面。对于本领域技术人员来说,对在整个此公开中呈现的这些示例性实施例的各种修改将是显而易见的。因此,权利要求不旨在被局限于在整个此公开中呈现的示例性实施例,而是要被赋予与语言权利要求相一致的全部范围。本领域普通技术人员已知或以后将知道的在整个此公开中描述的示例性实施例的要素的结构和功能等价物均旨在被权利要求所涵盖。而且,在本文所公开的任何内容都不旨在奉献于公众,不管此类公开是否在权利要求中明确叙述。除非使用短语“用于…的装置”对要素进行明确叙述,或者在方法权利要求的情况下使用短语“用于…的步骤”对要素进行明确叙述,否则,权利要求要素不根据35 U.S.C. §112 (f) 或可适用的司法权中类似的规定进行解释。

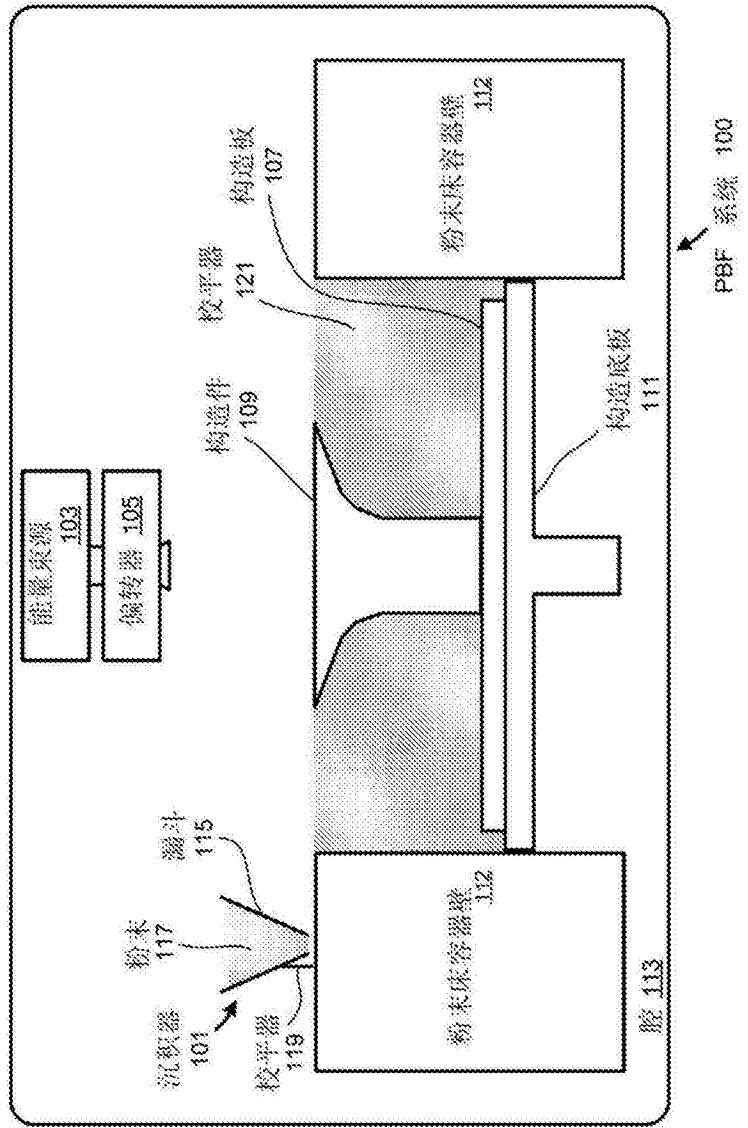


图1A

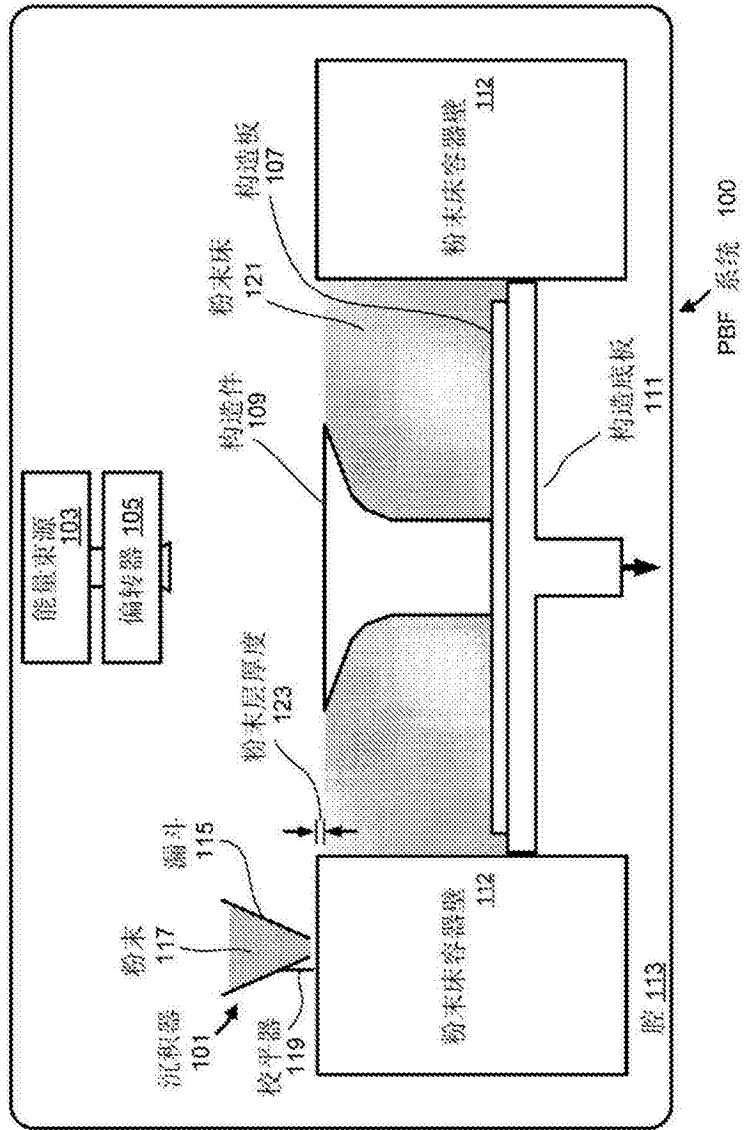


图1B

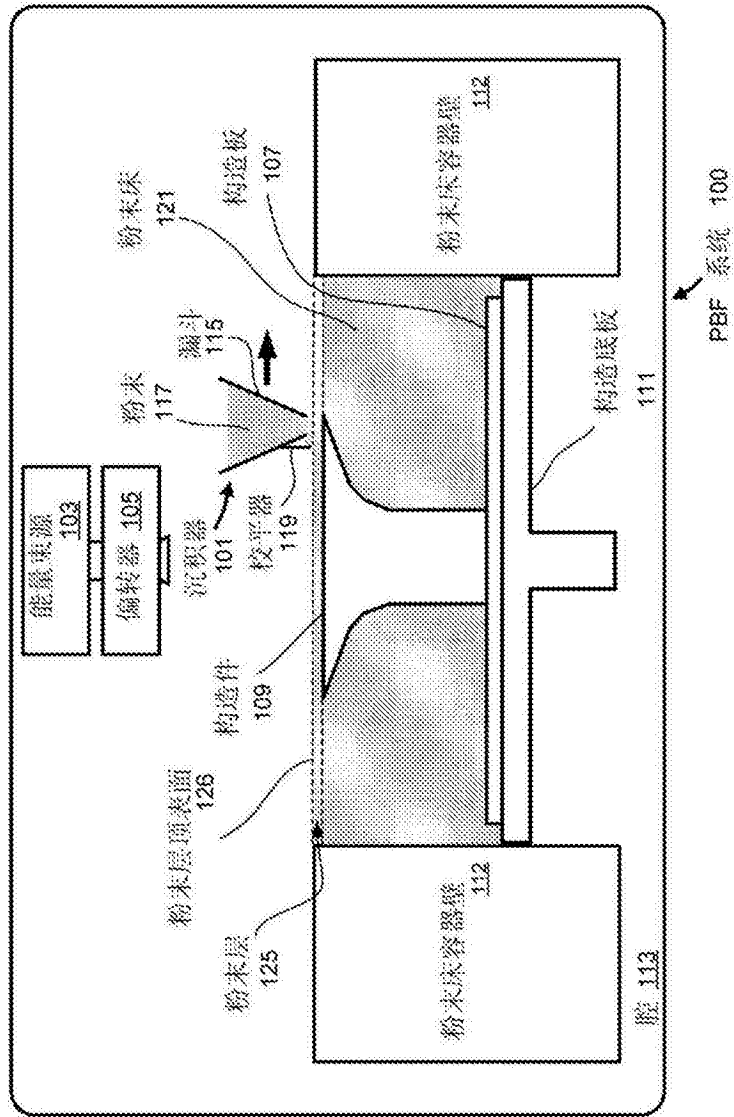


图1C

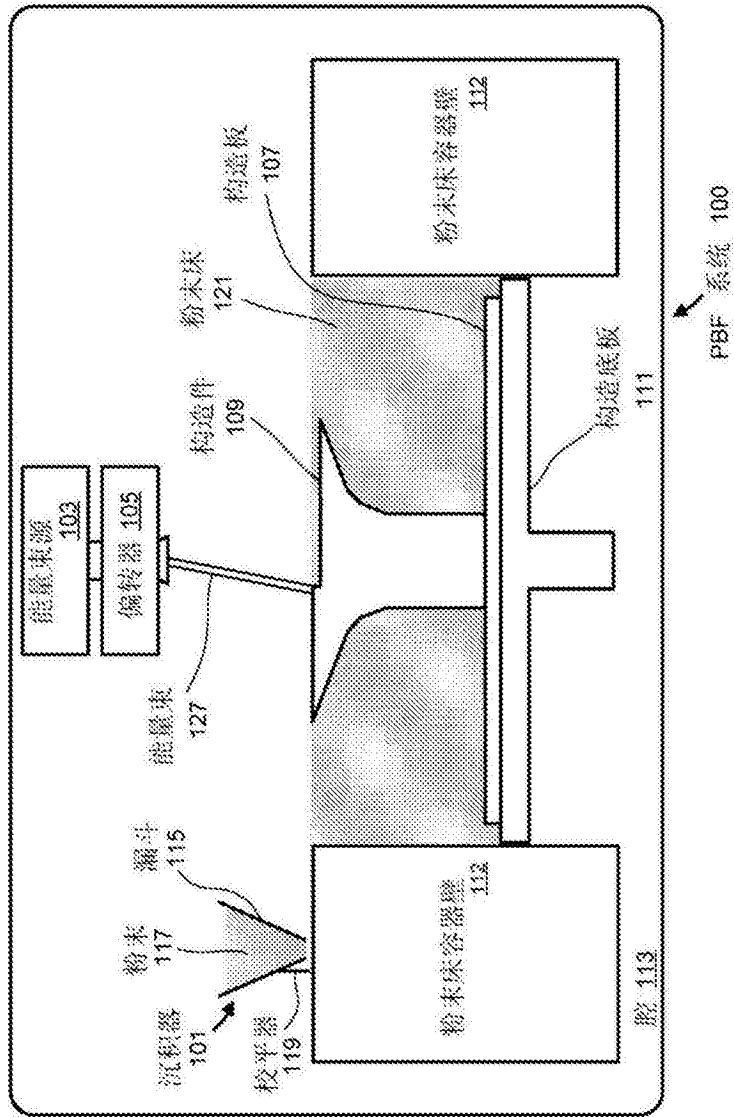


图1D

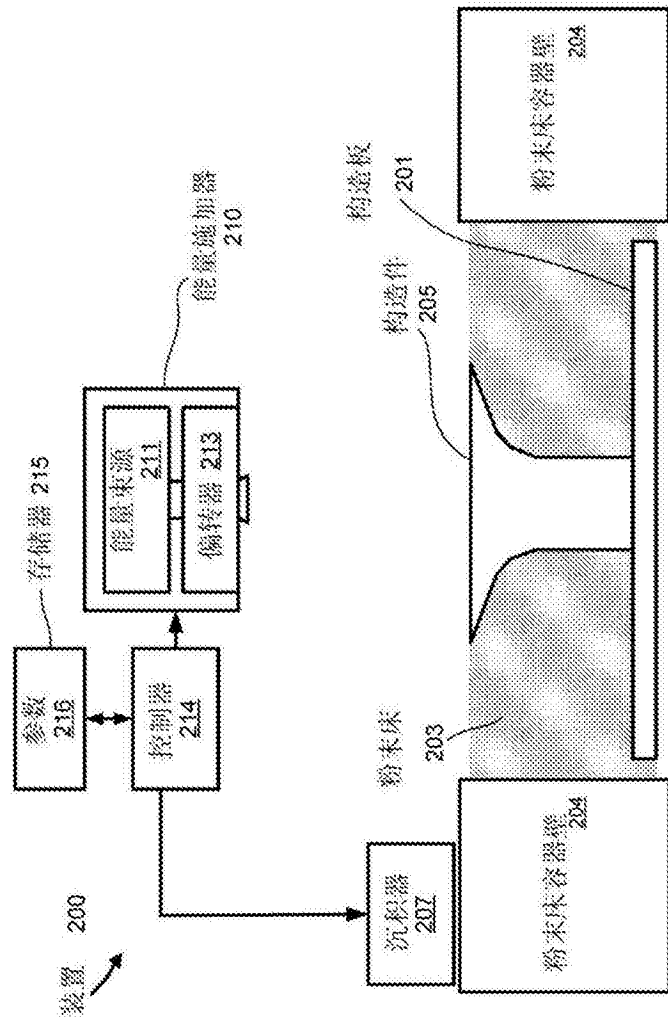


图2

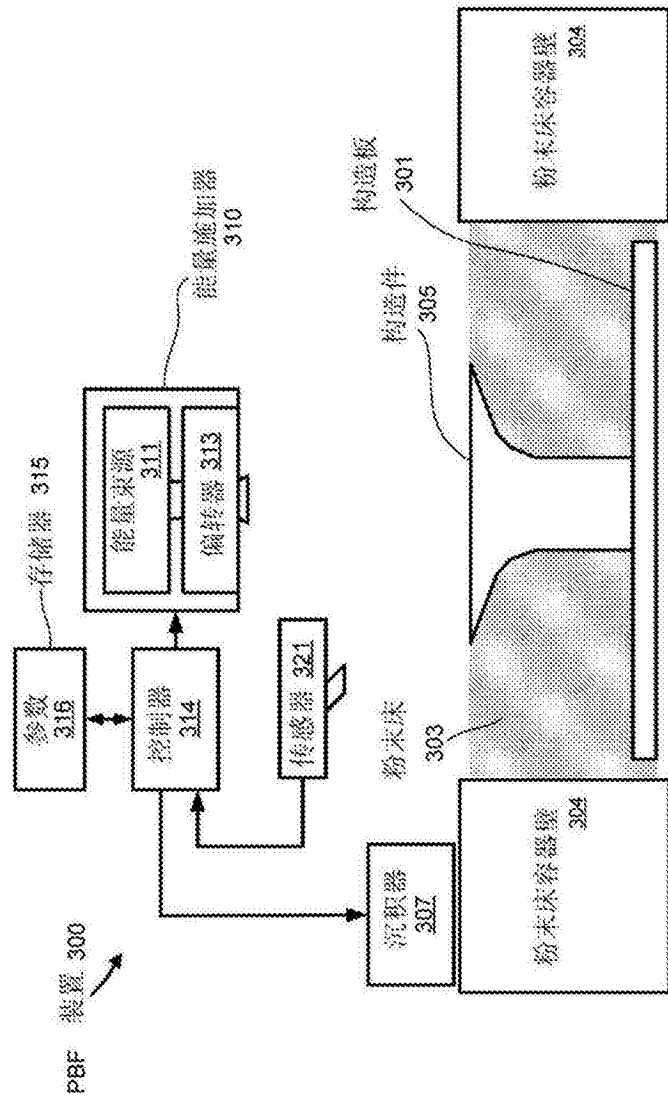


图3

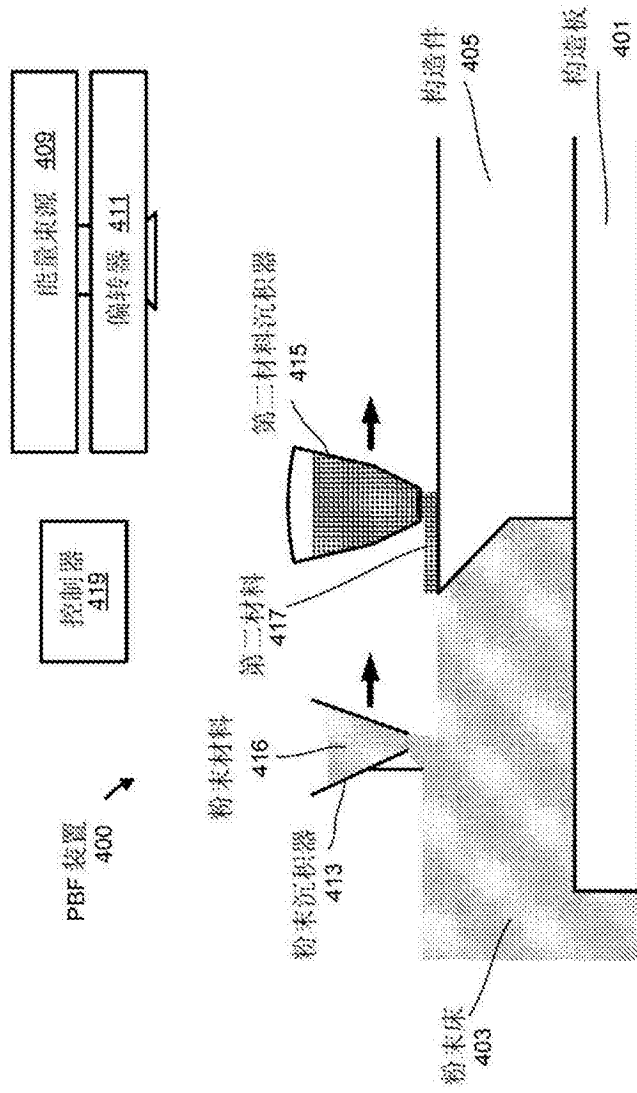


图4A

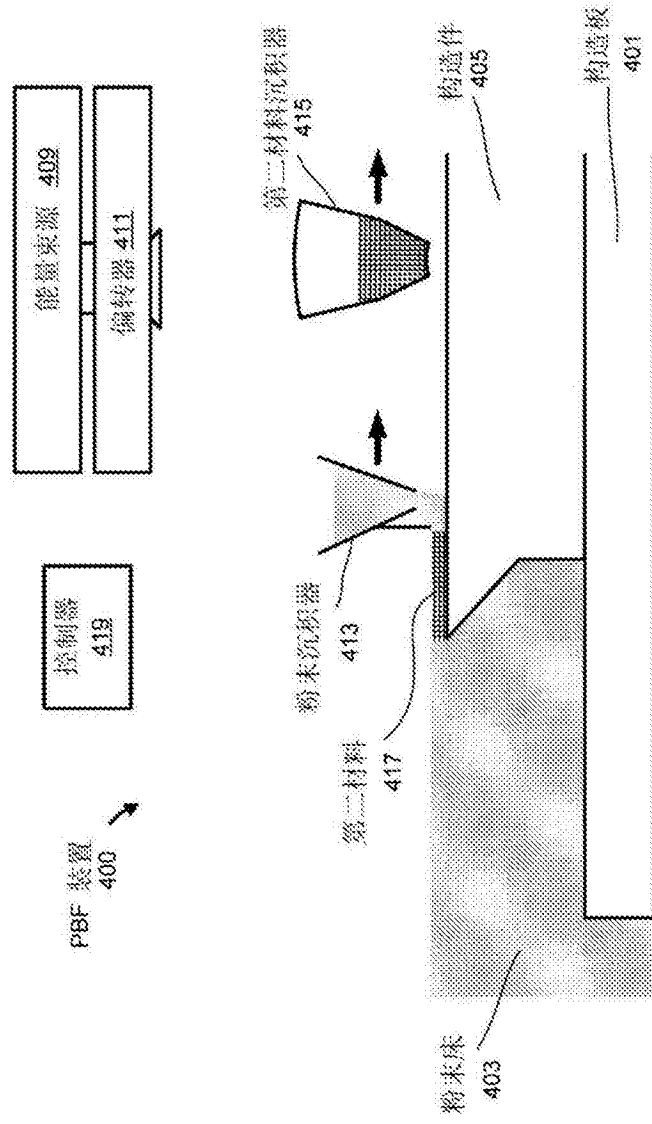


图4B

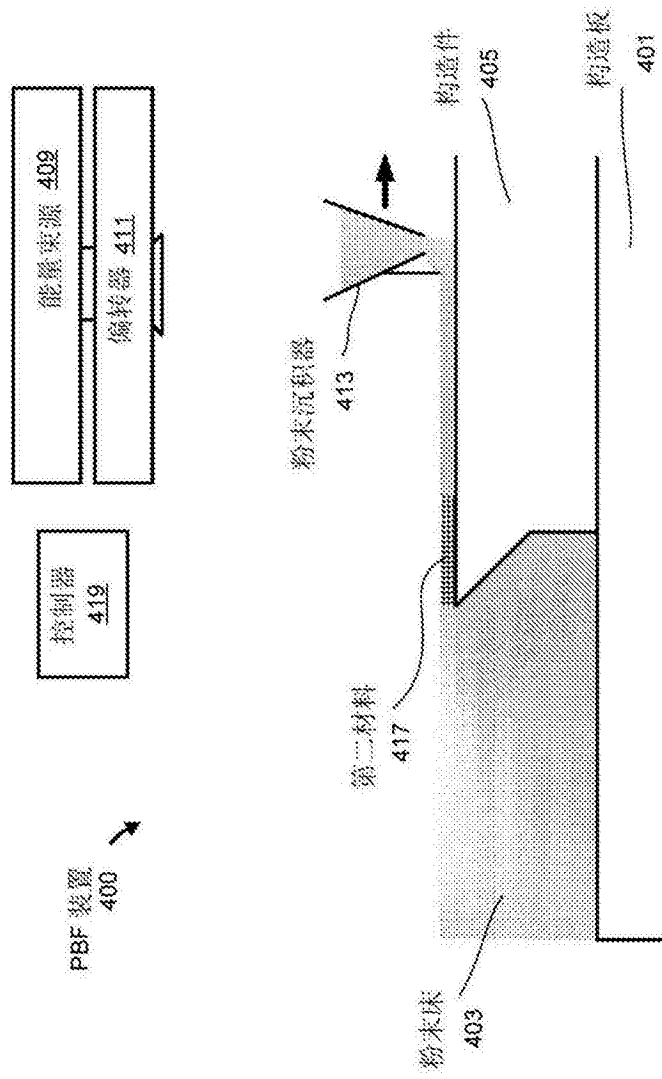


图4C

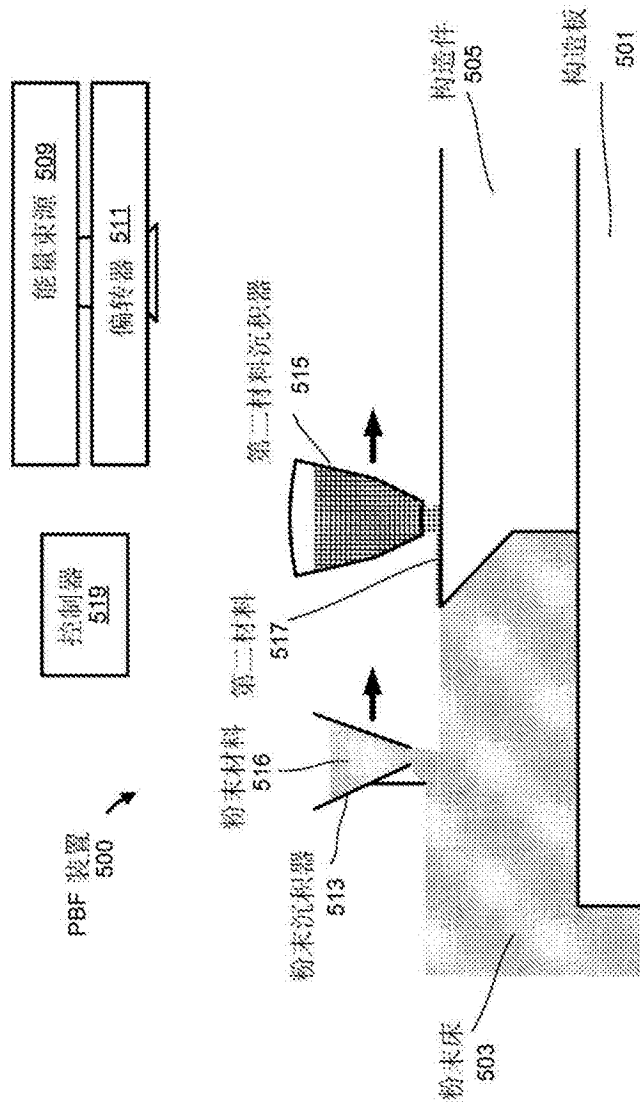


图5A

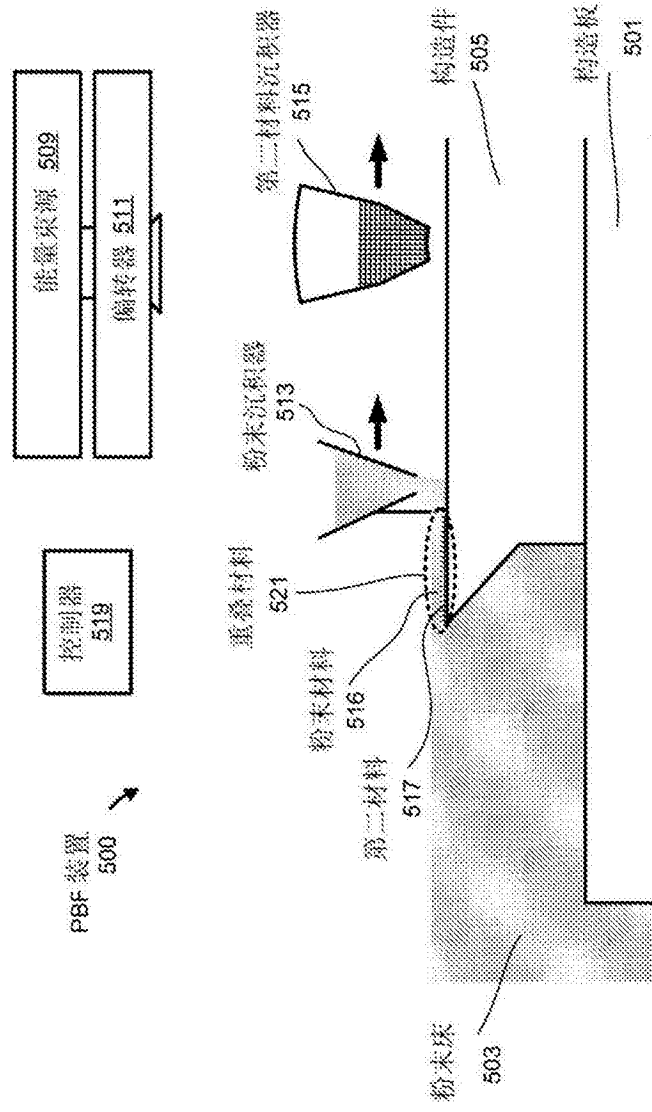


图5B

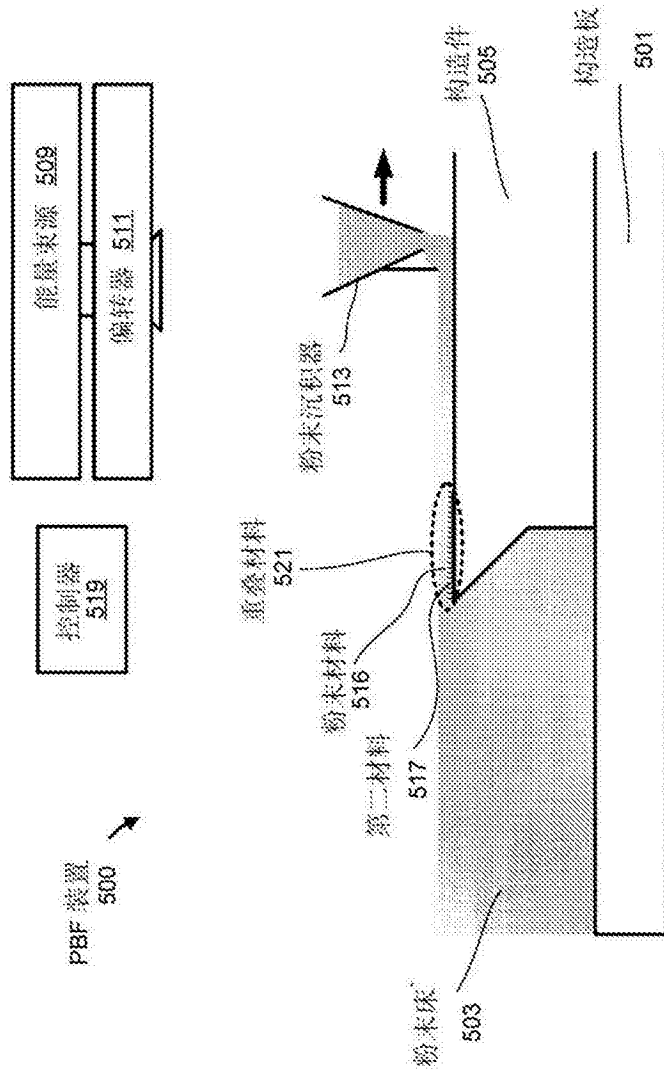


图5C

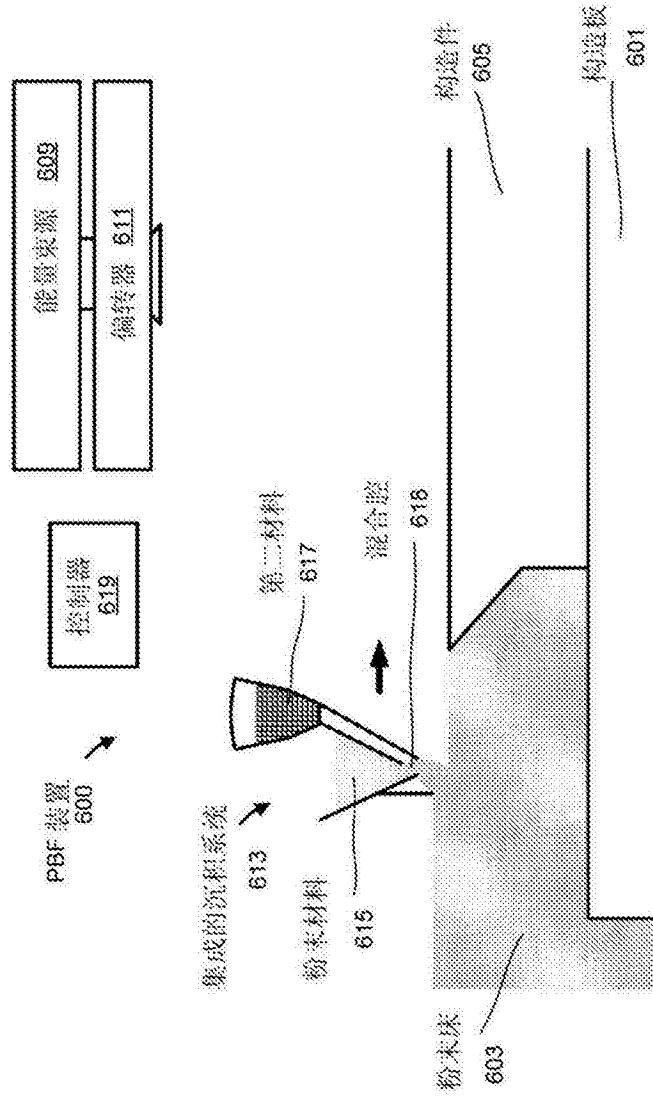


图6A

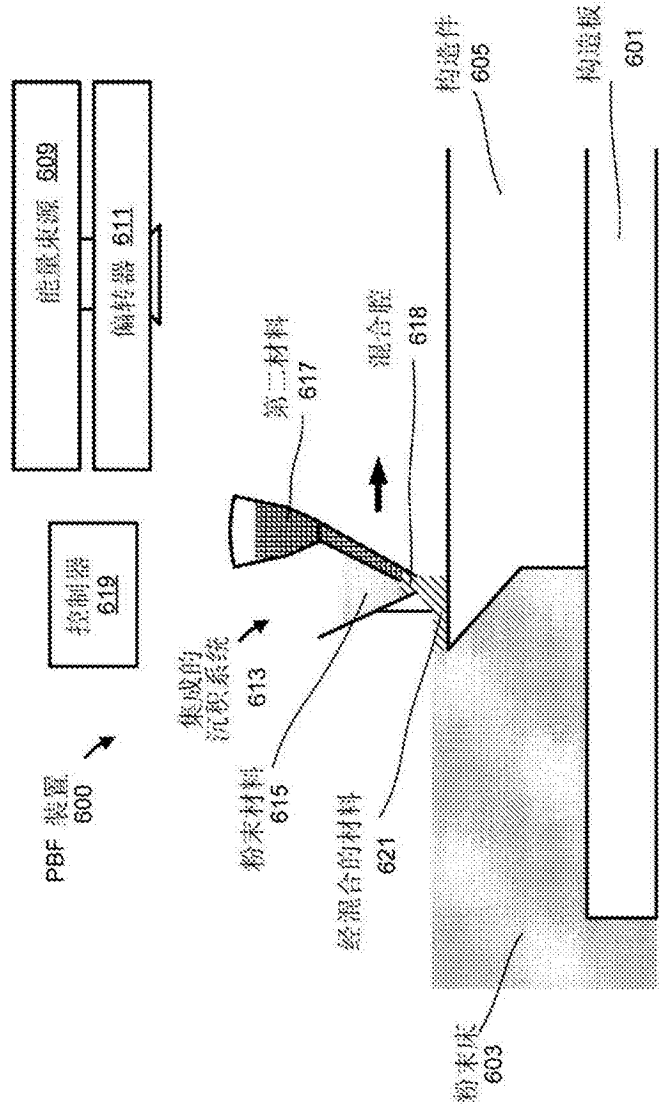


图6B

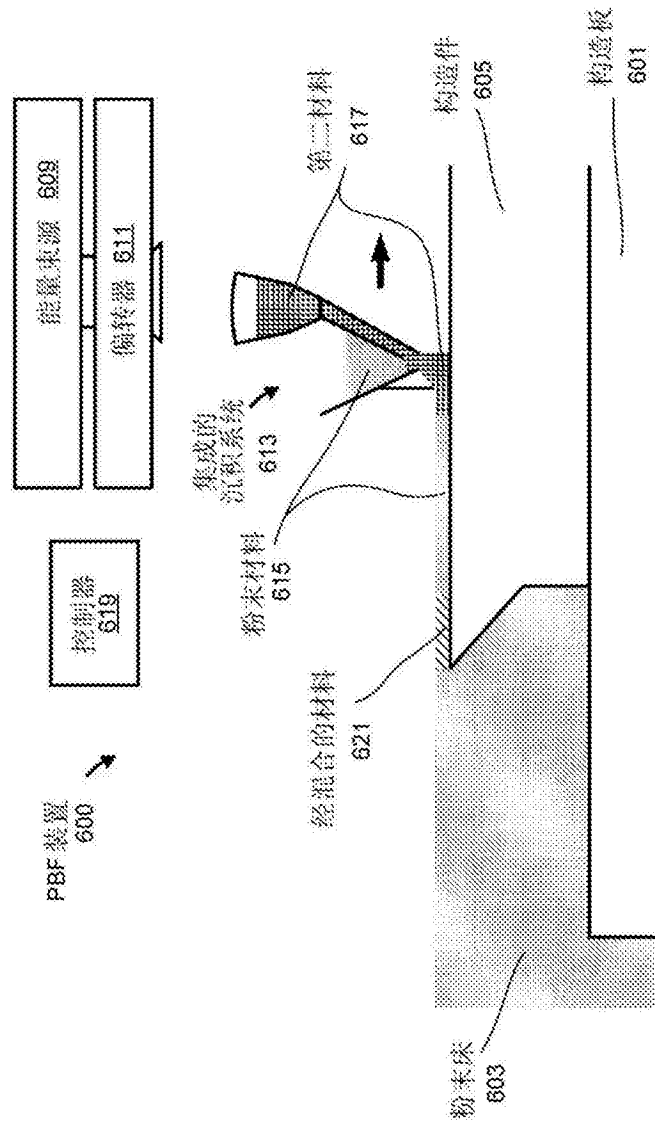


图6C

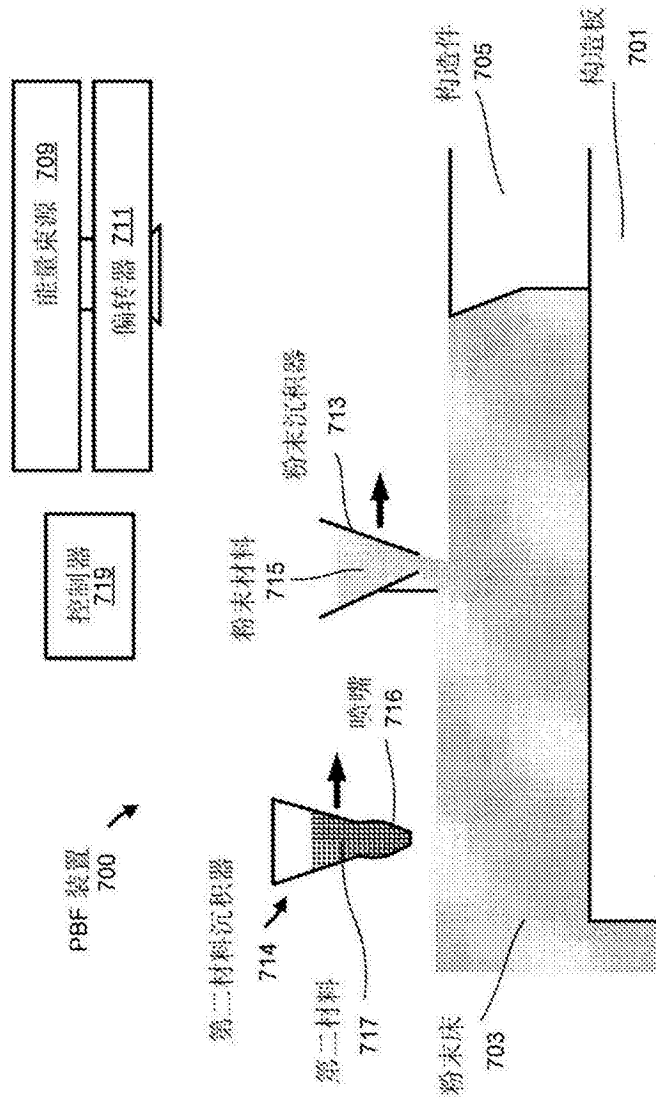


图7A

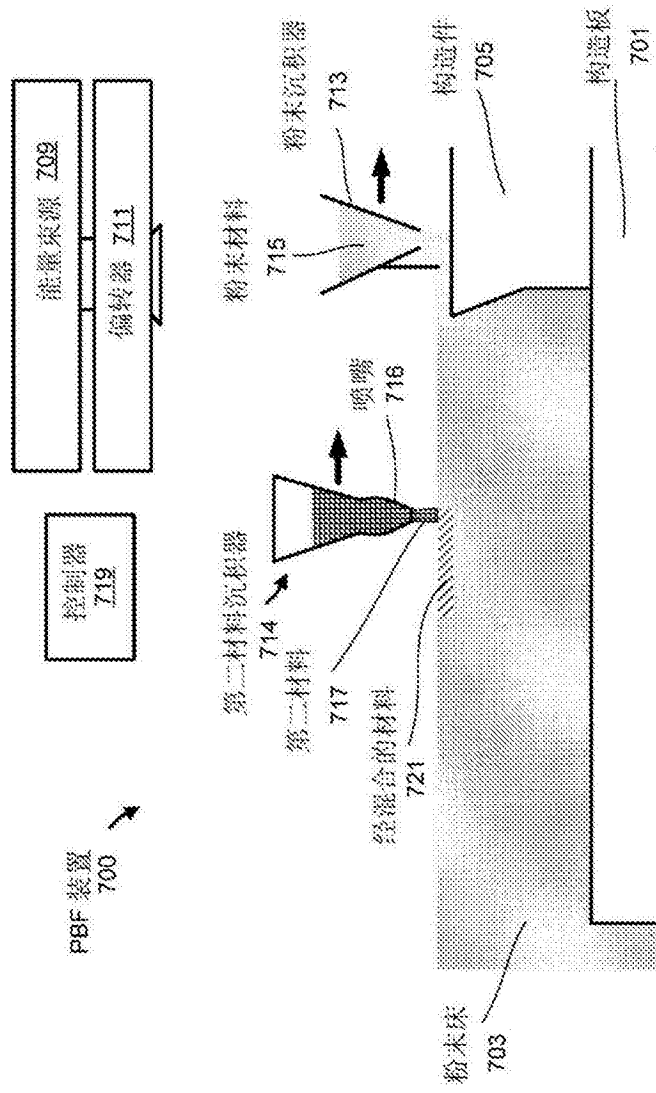


图7B

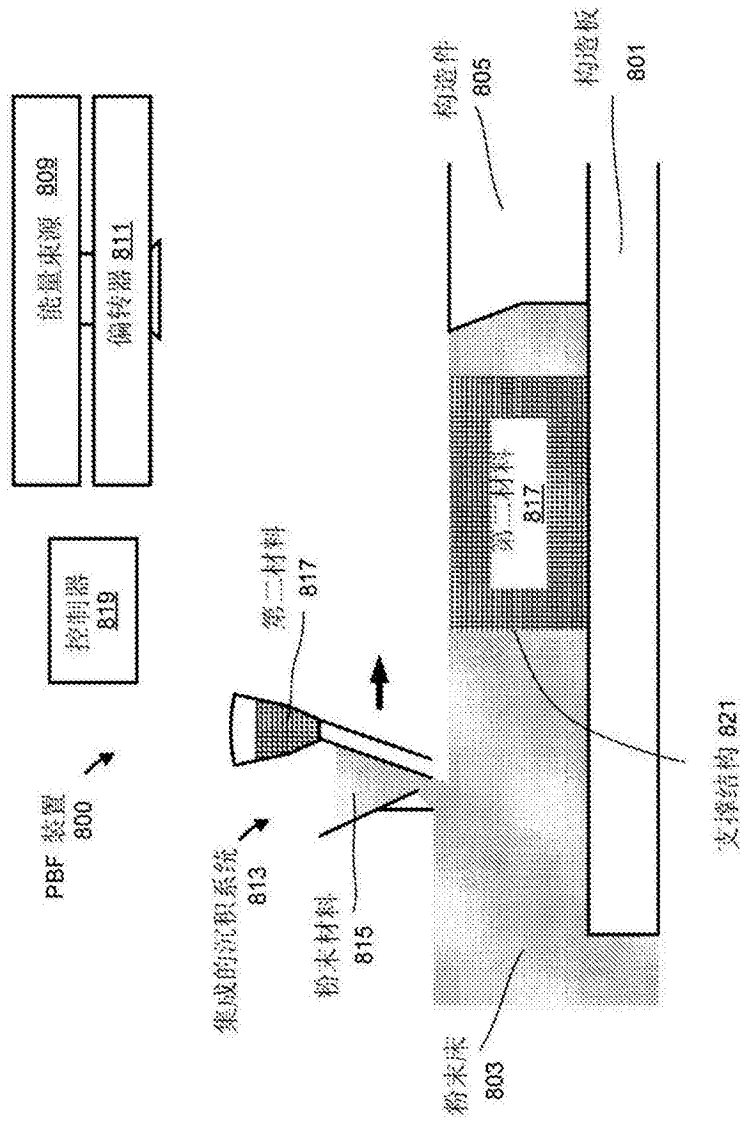


图8A

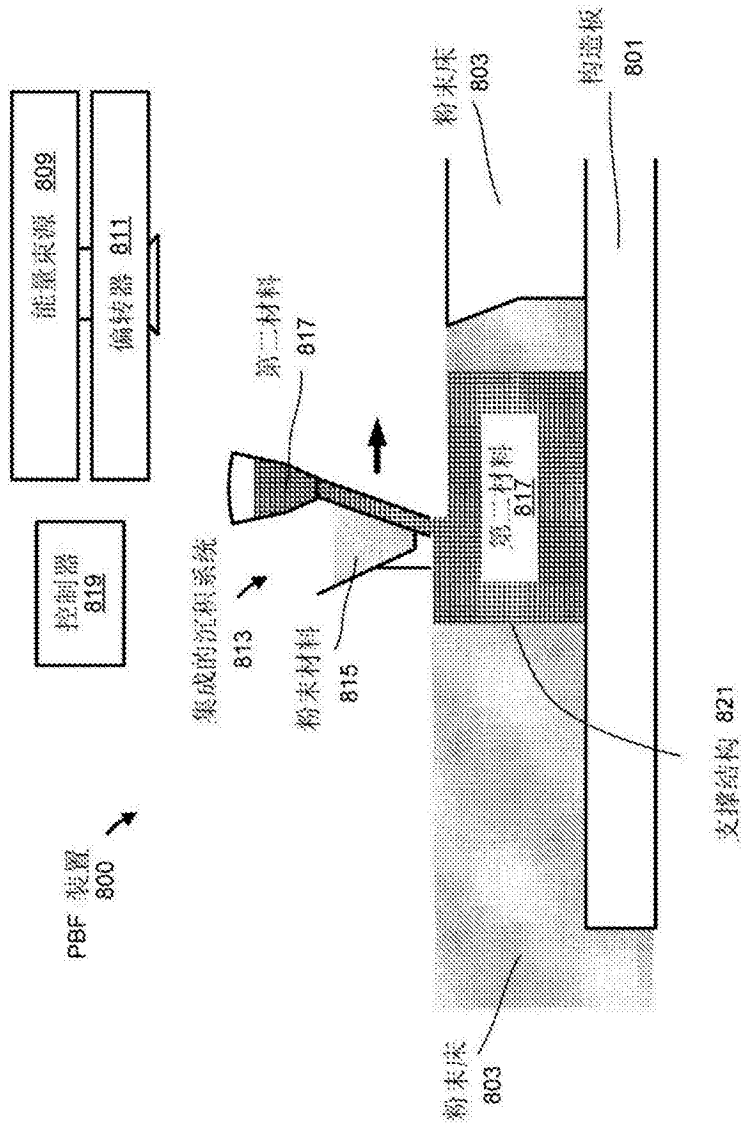


图8B

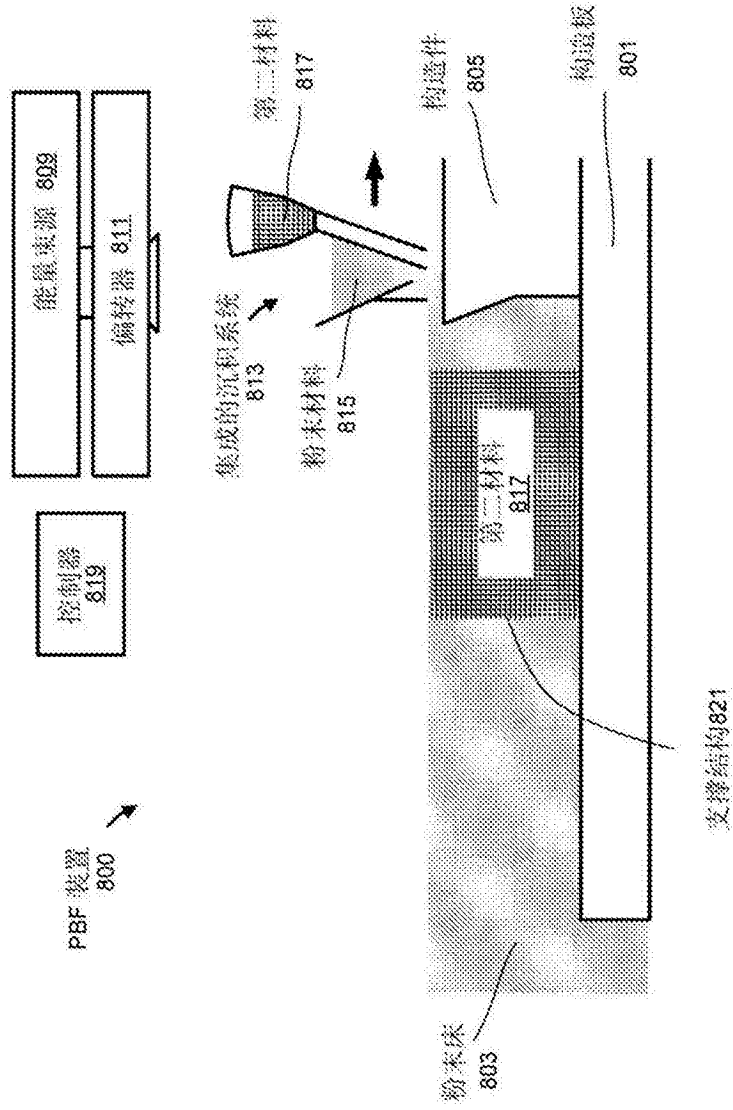


图8C

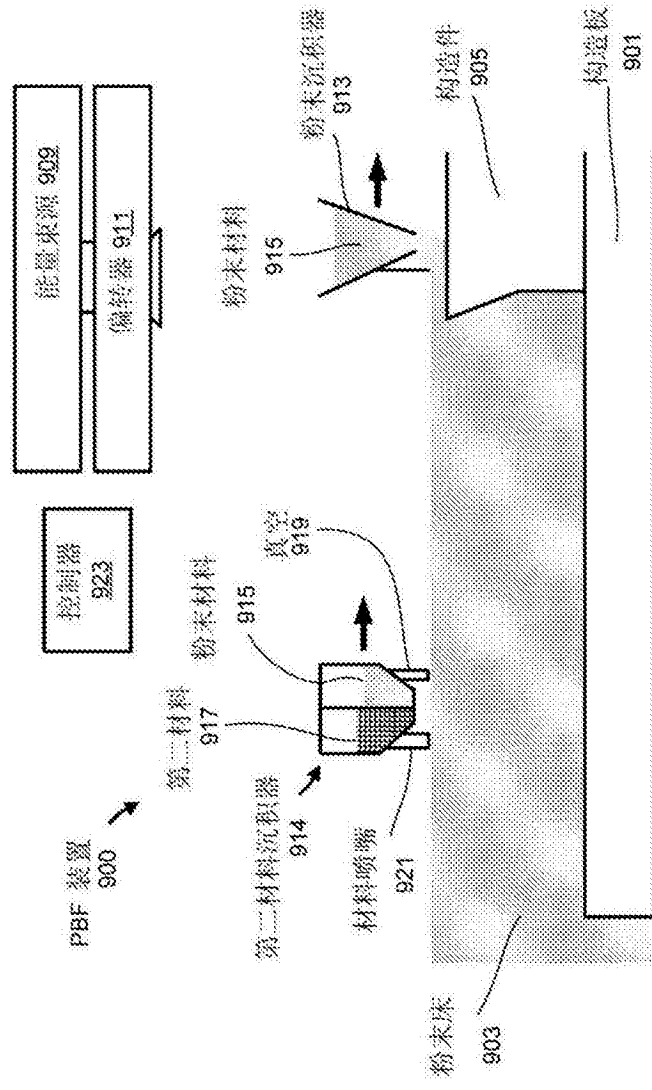


图9A

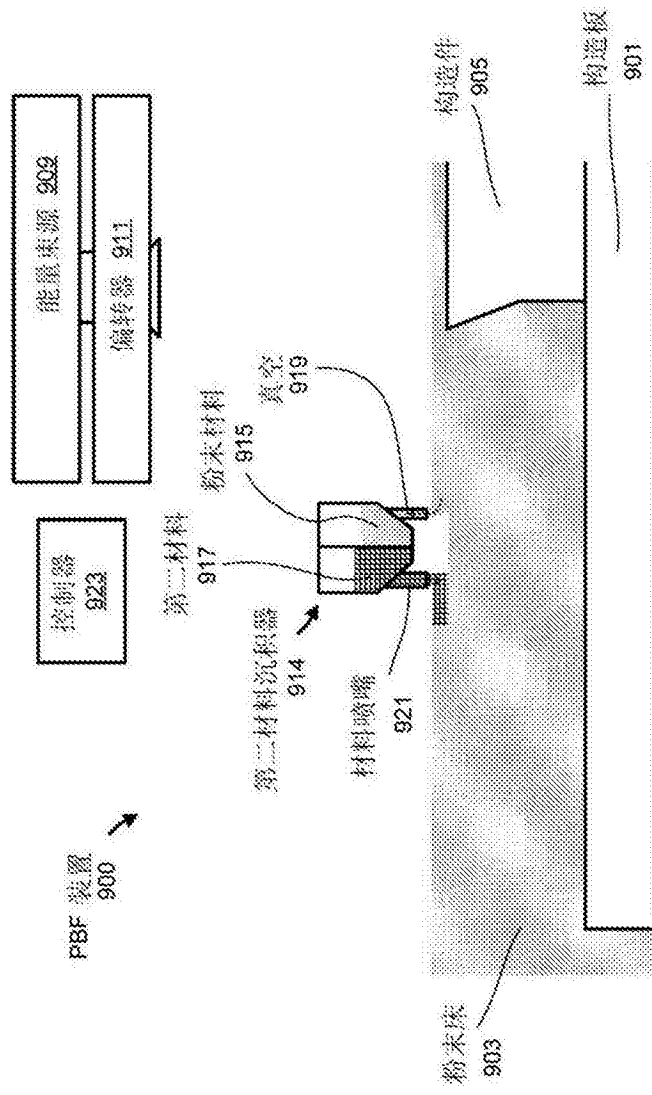


图9B

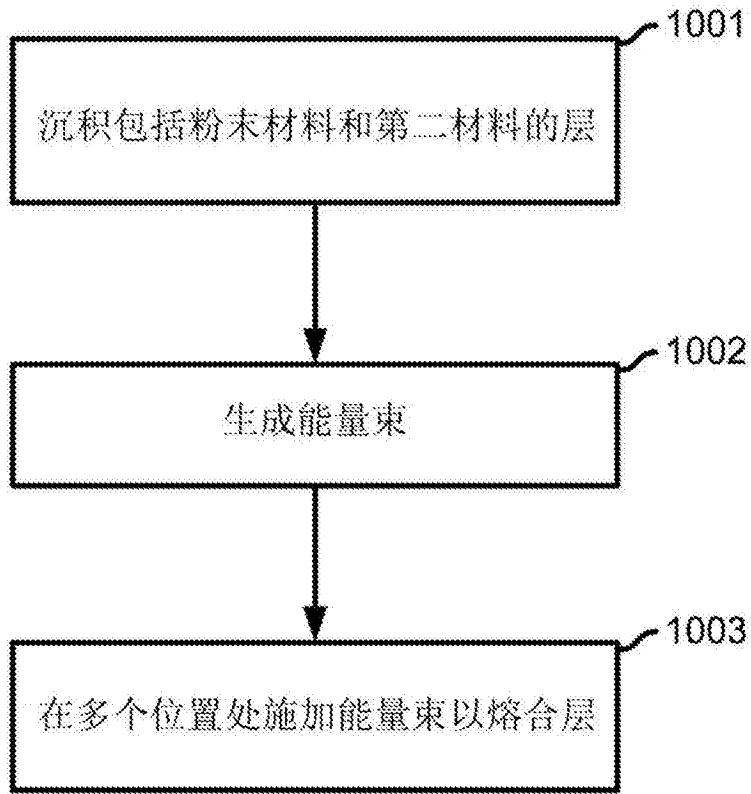


图10

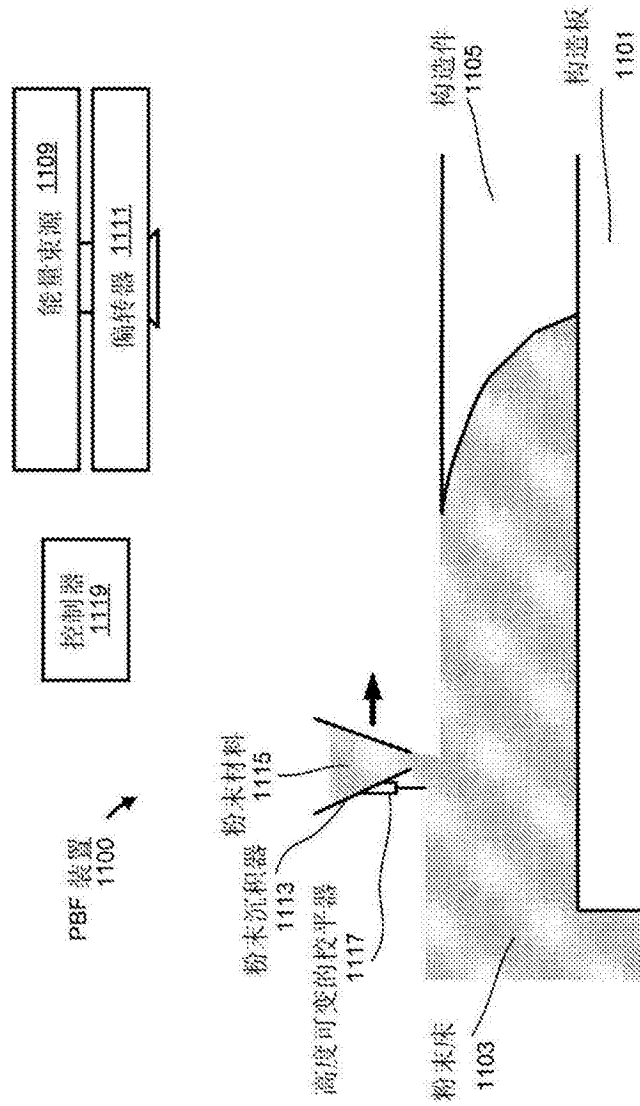


图11A

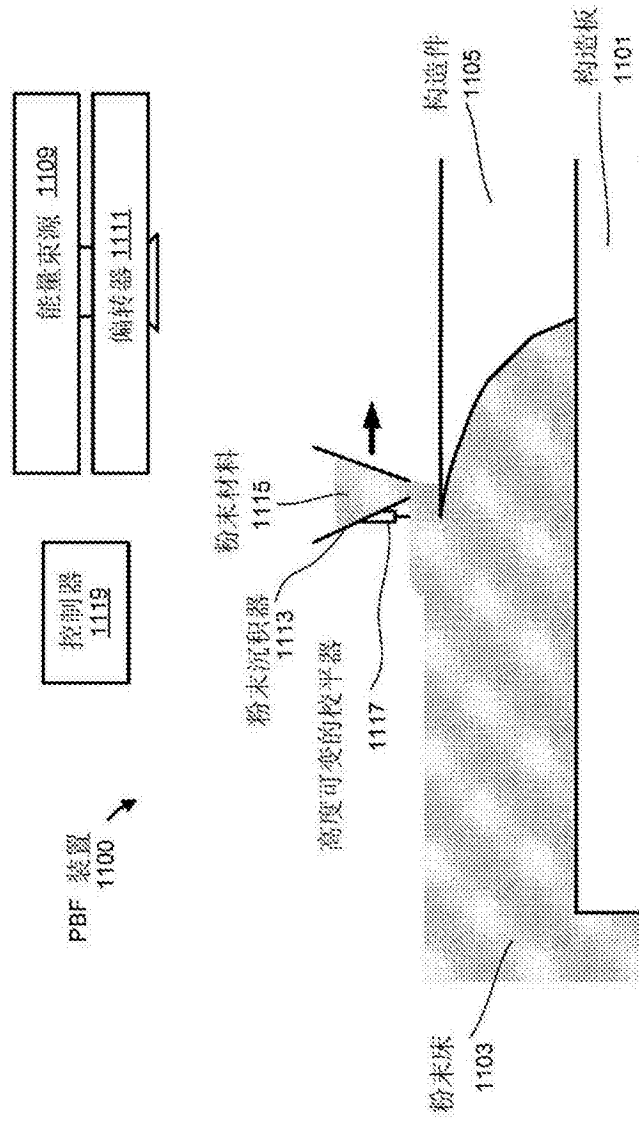


图11B

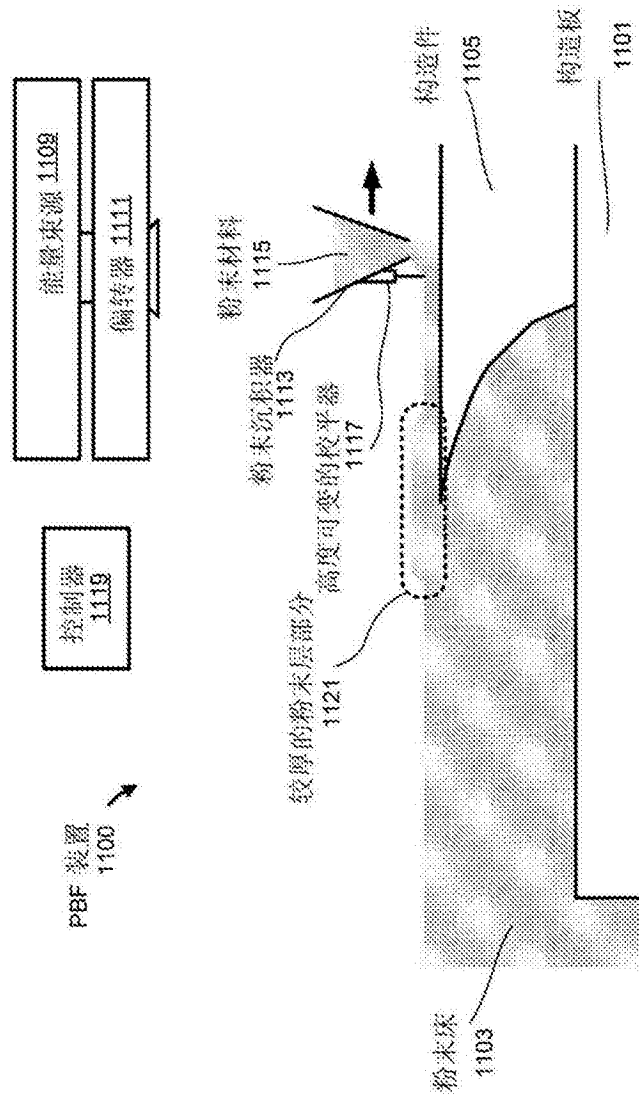


图11C

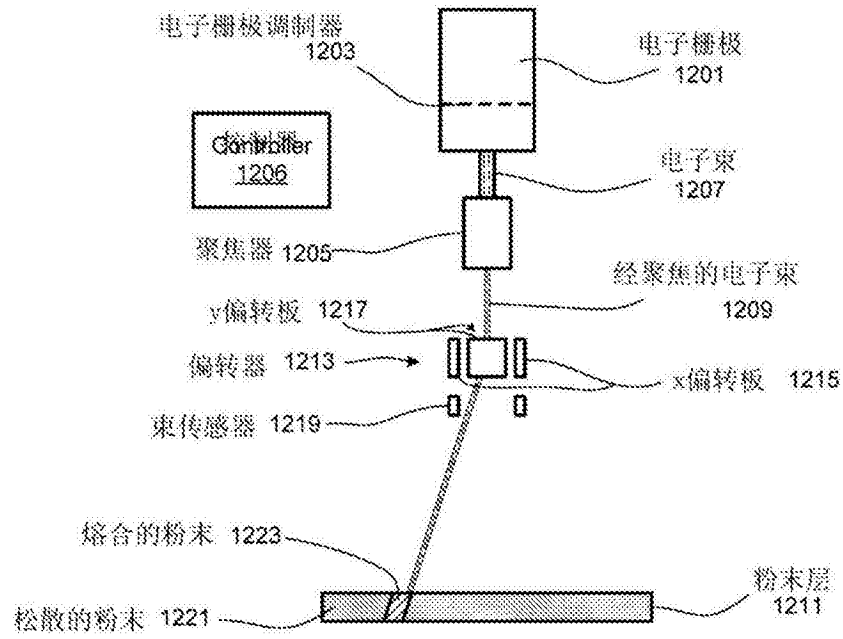


图12

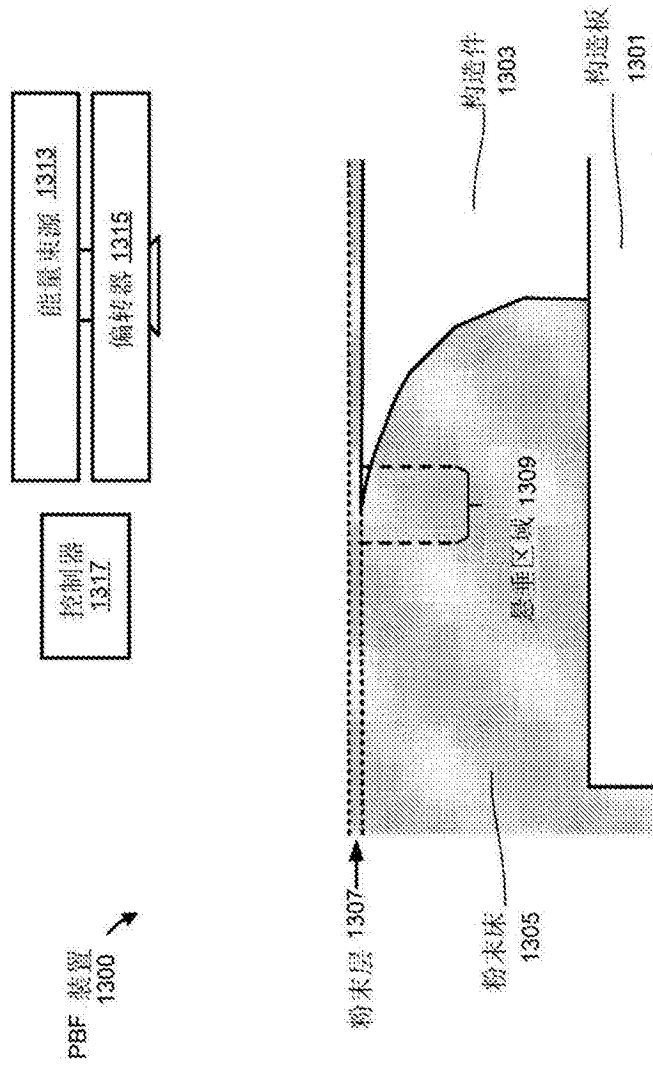


图13A

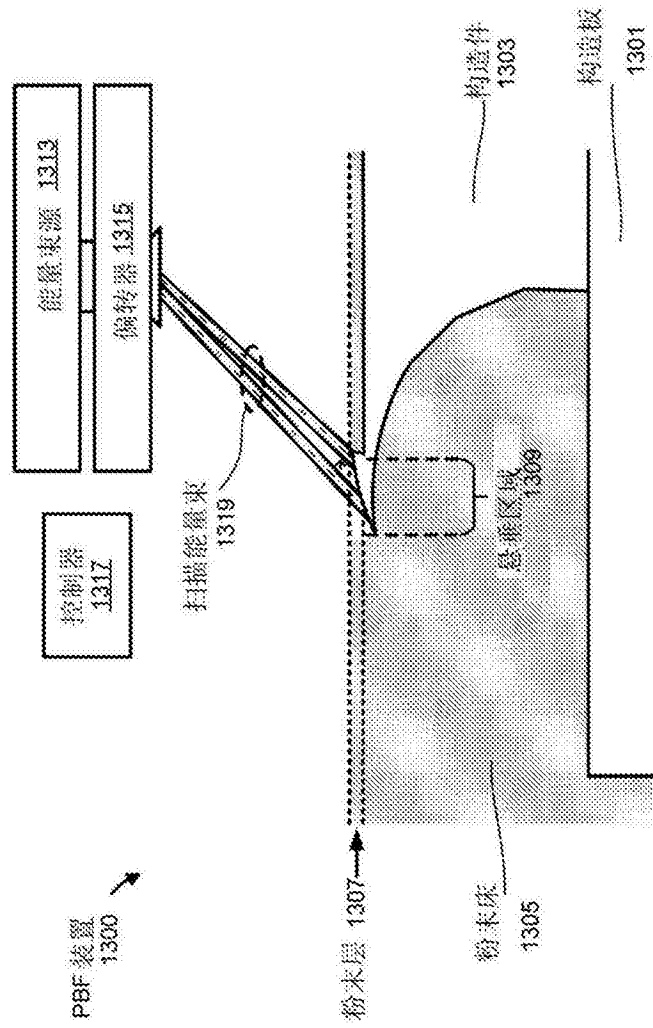


图13B

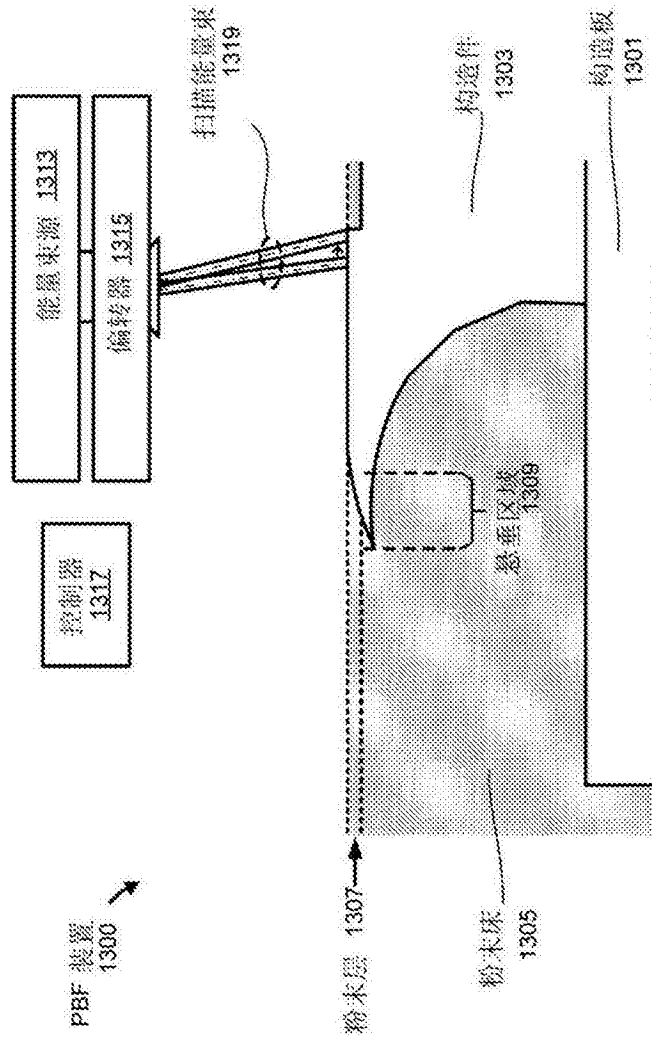


图13C

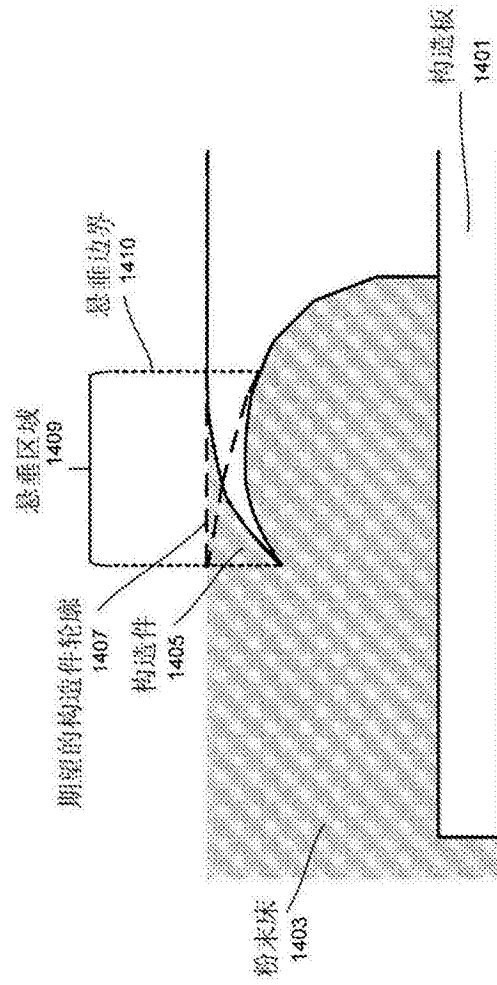


图14

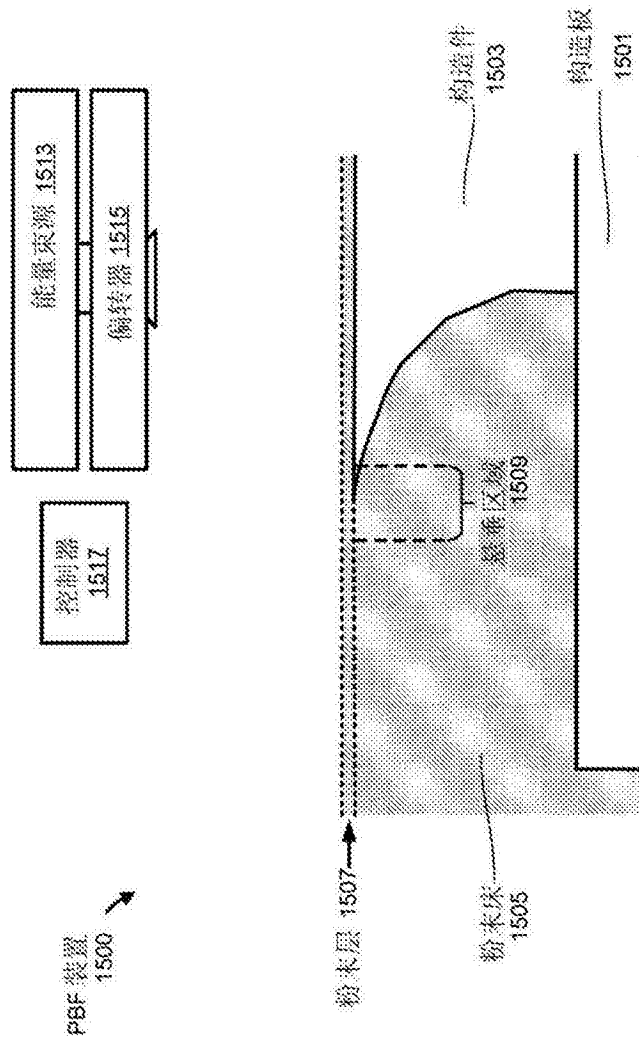


图15A

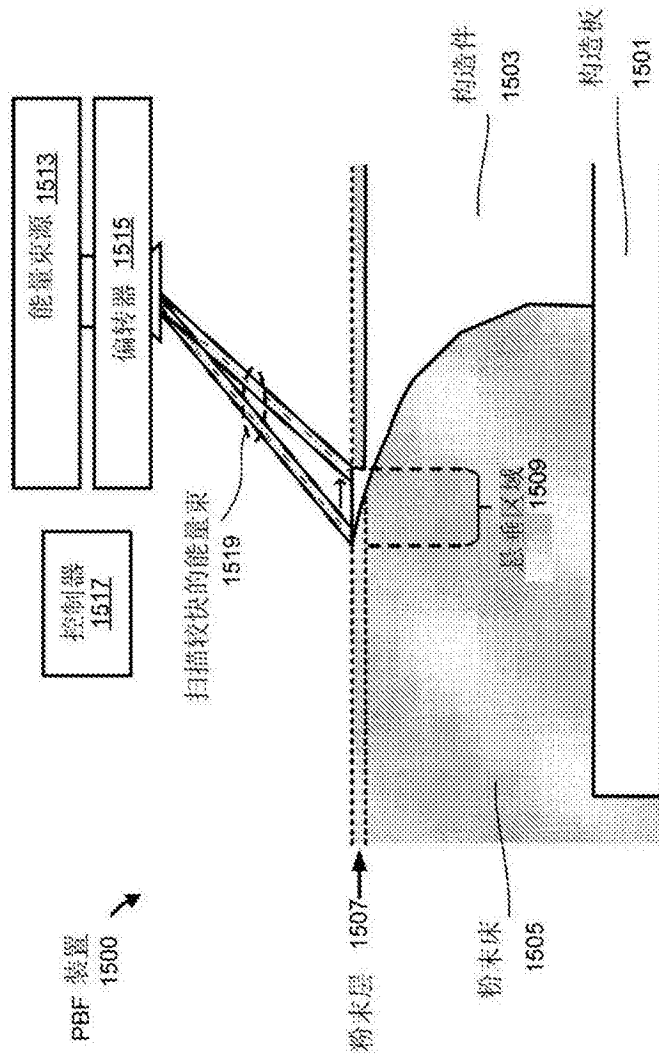


图15B

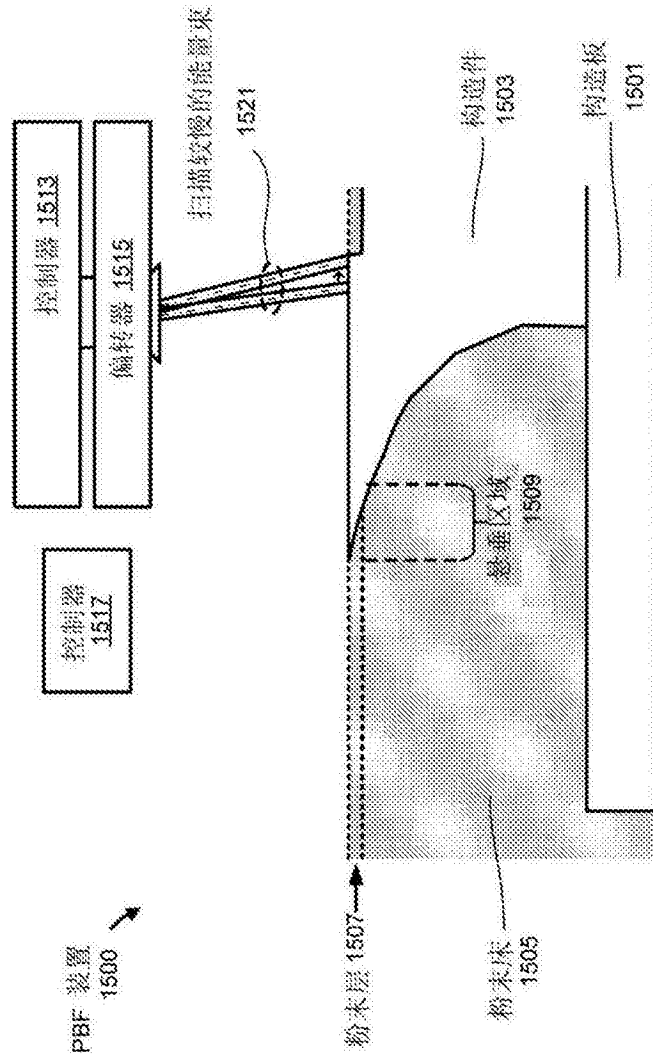


图15C

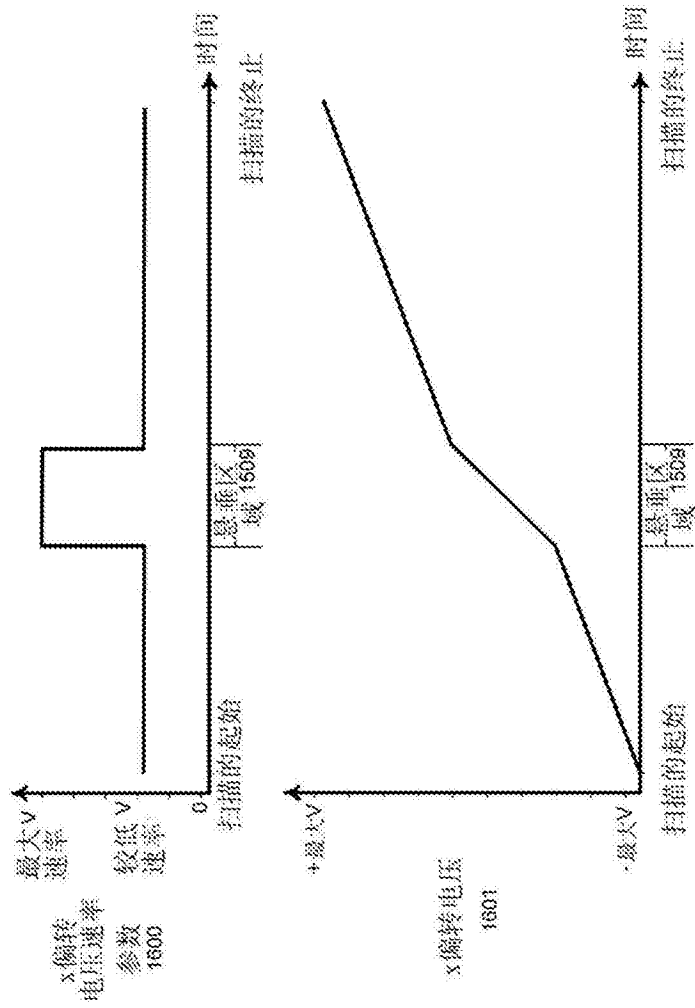


图16

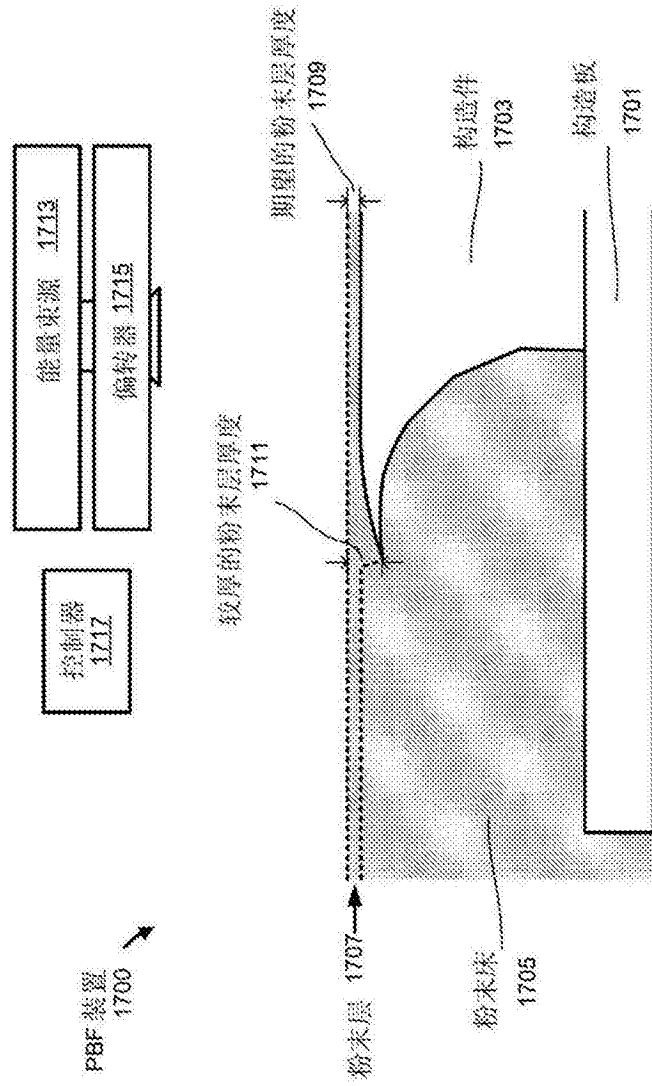


图17A

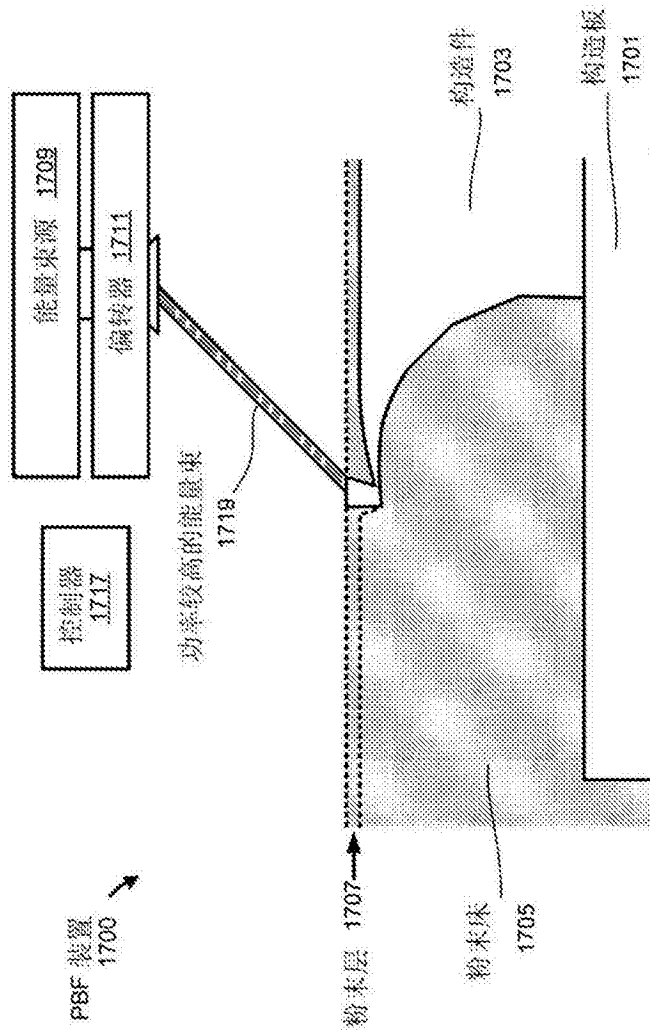


图17B

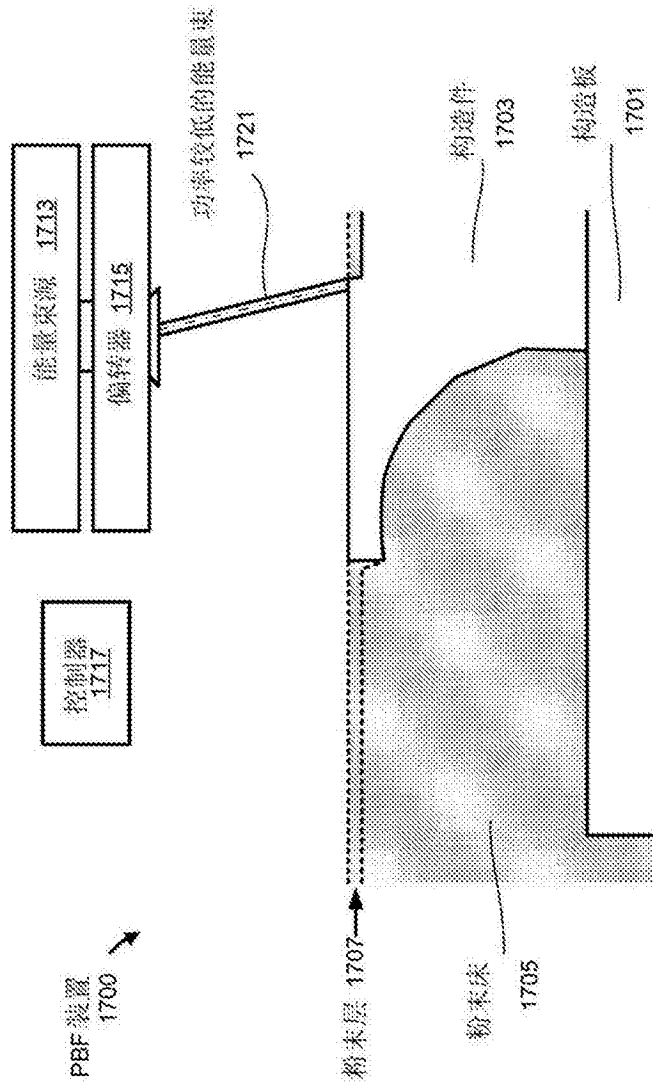


图17C

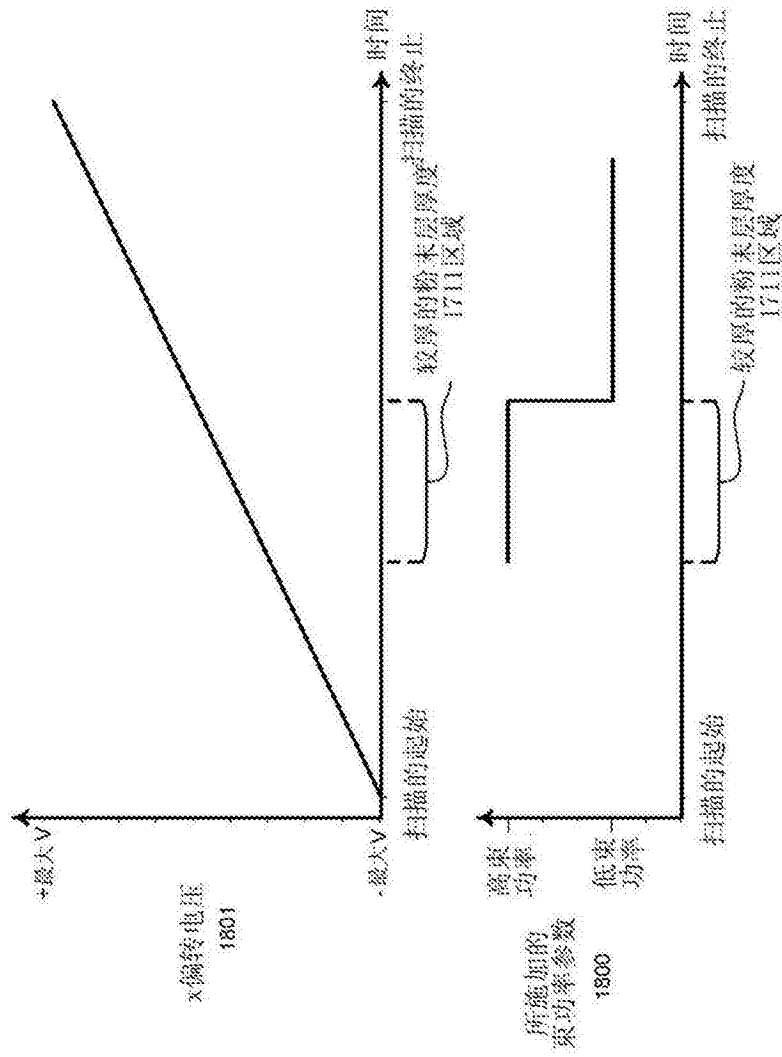


图18

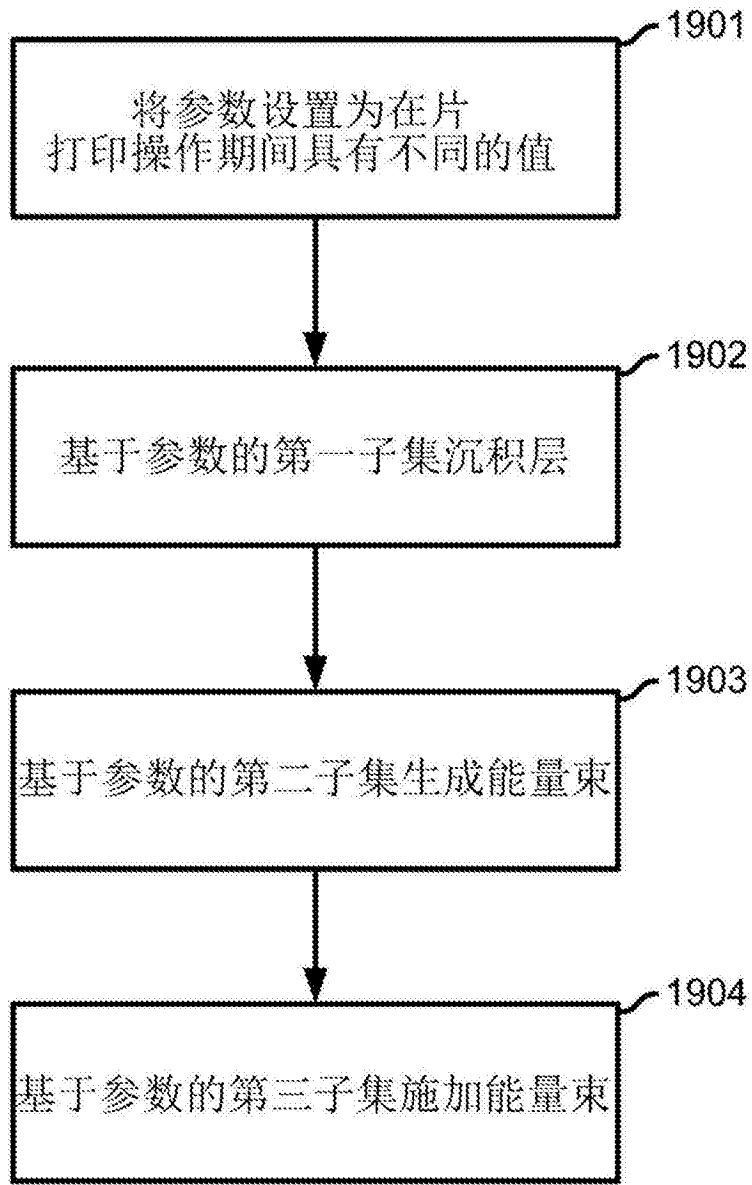


图19

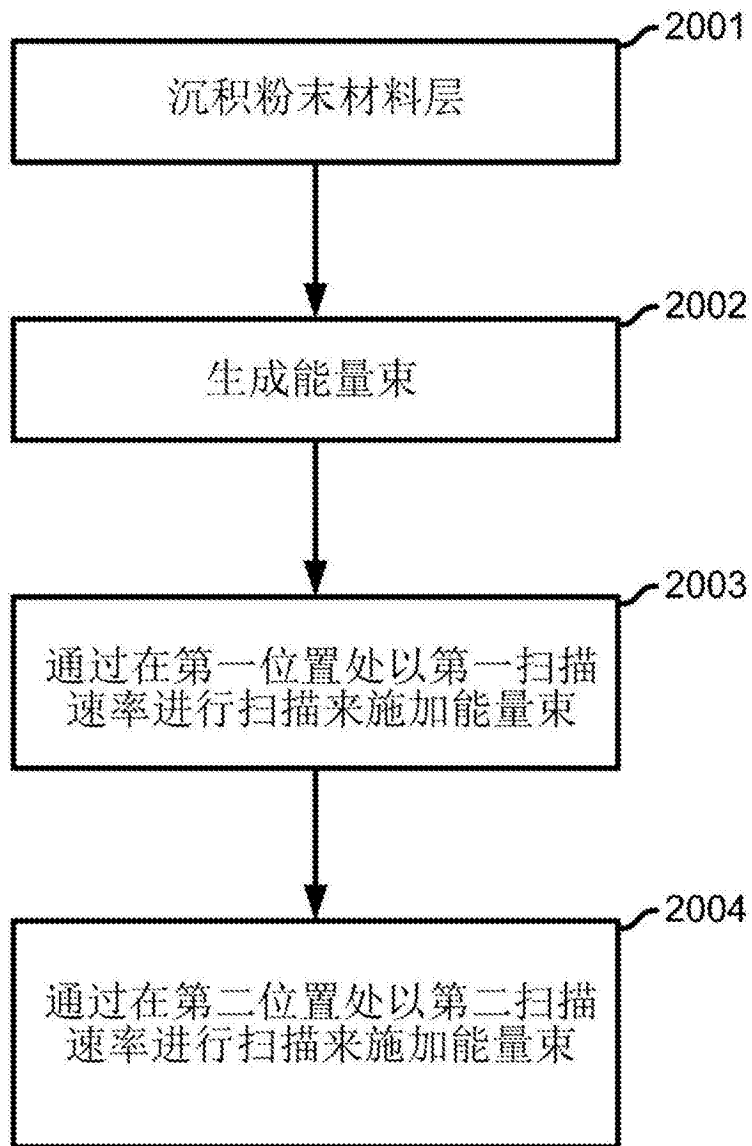


图20

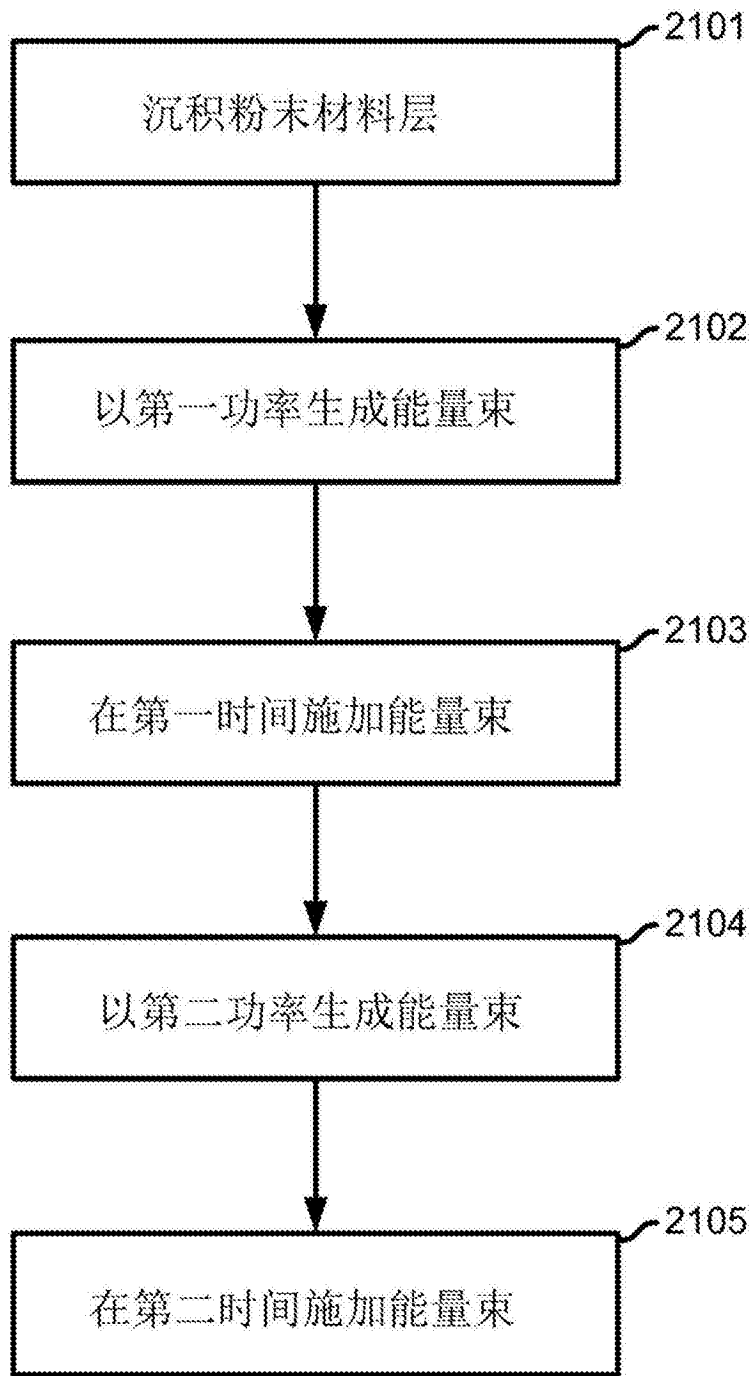


图21