



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117098870 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 21

(21) 申请号 202280024780.6

(22) 申请日 2022.01.25

(30) 优先权数据

63/142,238 2021.01.27 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.09.26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/070347 2022.01.25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/165484 EN 2022.08.04

(71) 申请人 尤金纳斯股份有限公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 马丁·J·萨利纳斯

米格尔·索尔达娜

维克托·考尔德伦

(74) 专利代理机构 成都超凡明远知识产权代理有限公司 51258

专利代理师 陈伟秋

(51) Int.Cl.

G23C 16/18 (2006.01)

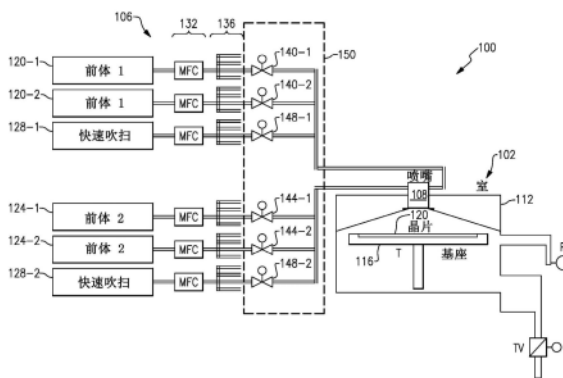
权利要求书6页 说明书19页 附图12页

(54) 发明名称

用于循环沉积的前体递送系统及方法

(57) 摘要

所公开技术总体上涉及半导体制造,且更特别地涉及循环沉积中的前体递送。在一方面,沉积薄膜的方法包括使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使所述衬底暴露包括通过两个或更多个原子层沉积(ALD) 阀将所述前体中的一种引入到所述薄膜沉积室中,所述原子层沉积(ALD) 阀各自被配置成供应所述前体中的所述一种。



1. 一种沉积薄膜的方法,所述方法包括:

在多个循环中使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体,

其中,使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中,以及

其中,独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的同一循环期间在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中期间的至少部分时间同时打开所述两个或更多个第一ALD阀。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀为在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中之前的最终阀。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀被设置于所述衬底的中心区竖直上方。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述两个或更多个ALD阀的出口与所述衬底的主表面之间的距离小于10英寸。

5. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个连接至多阀块,所述多阀块设置于所述薄膜沉积室外部且被配置成充当枢纽,以接收所述前体中的所述第一前体且通过所述多阀块中界定的内部导管将所述前体中的所述第一前体引导到所述薄膜沉积室中。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述内部导管包括中心导管,所述中心导管在与所述衬底的主表面交叉的竖直方向上延伸且连接至所述薄膜沉积室以将所述前体中的所述第一前体进料至所述薄膜沉积室中。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述中心导管为所述前体中的所述第一前体在引入到所述薄膜沉积室之前穿过的最终导管。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中,沉积薄膜包括在不借助于等离子体的情况下通过热ALD进行沉积。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,使所述衬底交替地暴露包括引入包括金属前体和氧化前体中的一种的所述前体中的所述第一前体,接着引入包括所述金属前体和所述氧化前体中的另一种的所述前体中的第二前体。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中期间基本上同时打开所述两个或更多个第一ALD阀。

11. 根据权利要求9所述的方法,其中,将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中包括通过所述两个或更多个第一ALD阀以组合流量引入,使得在所述衬底的表面处达到饱和水平的暴露时间相对于仅使用所述第一ALD阀中的一个在所述衬底的所述表面处达到所述饱和水平的参考暴露时间减少20%或更多。

12. 根据权利要求9所述的方法,其中,将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中包括通过所述两个或更多个ALD阀以组合流量引入,使得所述衬底的所述表面于所述前体中的所述第一前体的暴露时间小于1.0秒。

13. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第二ALD阀而将所述前体中的所述第二前体引入到所述薄膜沉积室中, 所述第二ALD阀并联连接至所述共有气体分布板以将所述前体中的所述第二前体供应到所述薄膜沉积室中。

14. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个在命令信号结束与所述两个或更多个第一ALD阀的隔膜的打开或关闭完成之间具有小于30ms的响应时间。

15. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个具有超过0.25的阀流量系数(C_v)。

16. 根据权利要求9所述的方法, 进一步包括在致动所述两个或更多个第一ALD阀之前和期间将所述两个或更多个第一ALD阀加热至超过80°C的阀温度。

17. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中包括通过所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个使惰性气体连续流动到所述薄膜沉积室中, 同时将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中。

18. 根据权利要求9所述的方法, 进一步包括在引入所述前体中的每一种之后通过致动并联连接至所述共有气体分布板的两个或更多个吹扫ALD阀而将吹扫气体引入到所述薄膜沉积室中。

19. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 所述薄膜包括TiN薄膜或TiSiN薄膜。

20. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 所述多种前体包括Ti前体、Si前体和N前体中的一种或多种。

21. 根据权利要求9所述的方法, 其中, 所述薄膜沉积室包括各自被配置成沉积所述薄膜的多个处理站。

22. 一种沉积薄膜的方法, 所述方法包括:

在多个循环中使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体,

其中, 使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中, 所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中, 以及

其中, 独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的第一循环期间致动所述两个或更多个第一ALD阀中的第一阀以及在所述循环中的第二循环期间致动所述两个或更多个第一ALD阀中的第二阀。

23. 根据权利要求22所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀为在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中之前的最终阀。

24. 根据权利要求23所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀被设置于所述衬底的中心区竖直上方。

25. 根据权利要求24所述的方法, 其中, 所述两个或更多个ALD阀的出口与所述衬底的主表面之间的距离小于10英寸。

26. 根据权利要求23所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个连接至多阀块, 所述多阀块设置于所述薄膜沉积室外部且被配置成充当枢纽, 以接收所述前体

中的所述第一前体且通过所述多阀块中界定的内部导管将所述前体中的所述第一前体引导到所述薄膜沉积室中。

27. 根据权利要求26所述的方法, 其中, 所述内部导管包括中心导管, 所述中心导管在与所述衬底的主表面交叉的竖直方向上延伸且连接至所述薄膜沉积室以将所述前体中的所述第一前体进料至所述薄膜沉积室中。

28. 根据权利要求27所述的方法, 其中, 所述中心导管为所述前体中的所述第一前体在引入到所述薄膜沉积室中之前穿过的最终导管。

29. 根据权利要求22所述的方法, 其中, 沉积薄膜包括在不借助于等离子体的情况下通过热ALD进行沉积。

30. 根据权利要求29所述的方法, 其中, 使所述衬底交替地暴露包括引入包括金属前体和氧化前体中的一种的所述前体中的所述第一前体, 接着引入包括所述金属前体和所述氧化前体中的另一种的所述前体中的第二前体。

31. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中期间基本上同时打开所述两个或更多个第一ALD阀。

32. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第二ALD阀而将所述前体中的所述第二前体引入到所述薄膜沉积室中, 所述第二ALD阀并联连接至所述共有气体分布板以将所述前体中的所述第二前体供应到所述薄膜沉积室中。

33. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个在命令信号结束与所述两个或更多个第一ALD阀的隔膜的打开或关闭完成之间具有小于30ms的响应时间。

34. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个具有超过0.25的阀流量系数(C_v)。

35. 根据权利要求30所述的方法, 进一步包括在致动所述两个或更多个第一ALD阀之前和期间将所述两个或更多个第一ALD阀加热至超过80°C的阀温度。

36. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中包括通过所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个使惰性气体连续流动到所述薄膜沉积室中, 同时将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中。

37. 根据权利要求30所述的方法, 进一步包括在引入所述前体中的每一种之后通过致动并联连接至所述共有气体分布板的两个或更多个吹扫ALD阀而将吹扫气体引入到所述薄膜沉积室中。

38. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 所述薄膜包括TiN薄膜或TiSiN薄膜。

39. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 所述多种前体包括Ti前体、Si前体和N前体中的一种或多种。

40. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 所述薄膜沉积室包括各自被配置成沉积所述薄膜的多个处理站。

41. 一种沉积薄膜的方法, 所述方法包括:

在多个循环中使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体,

其中,使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中,以及

其中,独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的同一循环期间通过交替地打开所述两个或更多个第一ALD阀中的不同阀而以多个脉冲使所述衬底暴露。

42.根据权利要求41所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀为在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中之前的最终阀。

43.根据权利要求42所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀被设置于所述衬底的中心区竖直上方。

44.根据权利要求43所述的方法,其中,所述两个或更多个ALD阀的出口与所述衬底的主表面之间的距离小于10英寸。

45.根据权利要求42所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个连接至多阀块,所述多阀块设置于所述薄膜沉积室外部且被配置成充当枢纽,以接收所述前体中的所述第一前体且通过所述多阀块中界定的内部导管将所述前体中的所述第一前体引导到所述薄膜沉积室中。

46.根据权利要求45所述的方法,其中,所述内部导管包括中心导管,所述中心导管在与所述衬底的主表面交叉的竖直方向上延伸且连接至所述薄膜沉积室以将所述前体中的所述第一前体进料至所述薄膜沉积室中。

47.根据权利要求46所述的方法,其中,所述中心导管为所述前体中的所述第一前体在引入到所述薄膜沉积室之前穿过的最终导管。

48.根据权利要求41所述的方法,其中,交替地打开所述两个或更多个第一ALD阀中的不同阀包括在没有所述前体中的第二前体的介入引入的情况下依次打开所述两个或更多个第一ALD阀中的所述不同阀。

49.根据权利要求48所述的方法,其中,所述薄膜沉积室被配置成用于在不借助于等离子体的情况下进行热ALD。

50.根据权利要求49所述的方法,其中,使所述衬底交替地暴露包括引入包括金属前体和氧化前体中的一种的所述前体中的所述第一前体,接着引入包括所述金属前体和所述氧化前体中的另一种的所述前体中的第二前体。

51.根据权利要求50所述的方法,其中,致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中期间基本上同时打开所述两个或更多个第一ALD阀。

52.根据权利要求50所述的方法,其中,使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第二ALD阀而将所述前体中的所述第二前体引入到所述薄膜沉积室中,所述第二ALD阀并联连接至所述共有气体分布板以将所述前体中的所述第二前体供应到所述薄膜沉积室中。

53.根据权利要求50所述的方法,其中,所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个在命令信号结束与所述两个或更多个第一ALD阀的隔膜的打开或关闭完成之间具有小于30ms的响应时间。

54. 根据权利要求50所述的方法, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个具有超过0.25的阀流量系数(C_v)。

55. 根据权利要求50所述的方法, 进一步包括在致动所述两个或更多个第一ALD阀之前和期间将所述两个或更多个第一ALD阀加热至超过80°C的阀温度。

56. 根据权利要求50所述的方法, 其中, 将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中包括通过所述两个或更多个第一ALD阀中的每一个使惰性气体连续流动到所述薄膜沉积室中, 同时将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中。

57. 根据权利要求50所述的方法, 进一步包括在引入所述前体中的每一种之后通过致动并联连接至所述共有气体分布板的两个或更多个吹扫ALD阀而将吹扫气体引入到所述薄膜沉积室中。

58. 根据权利要求50所述的方法, 其中, 所述薄膜包括TiN薄膜或TiSiN薄膜。

59. 根据权利要求50所述的方法, 其中, 所述多种前体包括Ti前体、Si前体和N前体中的一种或多种。

60. 根据权利要求50所述的方法, 其中, 所述薄膜沉积室包括各自被配置成沉积所述薄膜的多个处理站。

61. 一种薄膜沉积系统, 包括:

薄膜沉积室, 所述薄膜沉积室被配置成通过使衬底交替地暴露于多种前体来沉积薄膜, 其中, 所述薄膜沉积系统被配置成通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积 (ALD) 阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中, 所述第一原子层沉积 (ALD) 阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中。

62. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀为在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中之前的最终阀。

63. 根据权利要求62所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀被设置于所述衬底的中心区竖直上方。

64. 根据权利要求63所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述两个或更多个第一ALD阀的出口与所述衬底的主表面之间的距离小于10英寸。

65. 根据权利要求62所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述两个或更多个ALD阀中的每一个连接至多阀块, 所述多阀块设置于所述薄膜沉积室外部且被配置成充当枢纽, 以接收所述前体中的所述第一前体且通过所述多阀块中界定的内部导管将所述前体中的所述第一前体引导到所述薄膜沉积室中。

66. 根据权利要求65所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述内部导管包括中心导管, 所述中心导管在与所述衬底的主表面交叉的竖直方向上延伸且连接至所述薄膜沉积室以将所述前体中的所述第一前体进料至所述薄膜沉积室中。

67. 根据权利要求66所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述中心导管为所述前体中的所述第一前体在引入到所述薄膜沉积室之前穿过的最终导管。

68. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述薄膜沉积室被配置成用于在不借助于等离子体的情况下进行热ALD。

69. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统, 其中, 所述两个或更多个ALD阀中的每一个包括电磁先导阀且具有小于10ms的致动时间。

70. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述薄膜沉积室被配置成同时使用两个或更多个阀将所述前体中的所述一种递送到所述薄膜沉积室中。

71. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述薄膜沉积室被配置成依次使用两个或更多个阀将所述前体中的所述一种递送到所述薄膜沉积室中。

72. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述薄膜沉积系统被配置成通过所述两个或更多个ALD阀以组合流量将所述前体中的所述一种引入到所述薄膜沉积室中,使得所述衬底的表面在小于1.0秒内基本上饱和。

73. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述两个或更多个阀中的每一个具有超过0.25的阀流量系数(C_v)。

74. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述两个或更多个阀中的每一个被配置成在超过80°C的阀温度下操作。

75. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述两个或更多个阀中的每一个为三通阀,所述三通阀被配置成将所述前体中的所述一种引入到所述薄膜沉积室中,同时使惰性气体连续流动穿过其。

76. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,进一步包括ALD阀,所述ALD阀被配置成在通过所述两个或更多个ALD阀将所述前体中的所述一种引入到所述薄膜沉积室中之后用惰性气体吹扫所述薄膜沉积室。

77. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述两个或更多个ALD阀中的每一个具有小于30ms的响应时间。

78. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述薄膜包括TiN薄膜或TiSiN薄膜。

79. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述多种前体包括Ti前体、Si前体和N前体中的一种或多种。

80. 根据权利要求61所述的薄膜沉积系统,其中,所述薄膜沉积室包括各自被配置成沉积所述薄膜的多个处理站。

用于循环沉积的前体递送系统及方法

[0001] 任何优先权申请的援引并入

[0002] 根据37CFR 1.57, 与本申请一起提交的申请数据表中确定的外国或本国优先权要求的任何和所有申请特此通过援引并入。

[0003] 本申请根据35U.S.C. §119(e) 要求2021年1月27日提交的标题为“用于循环沉积的前体递送系统及方法 (PRECURSOR DELIVERY SYSTEM AND METHOD FOR CYCLIC DEPOSITION)”的美国临时专利申请号63/142,238的优先权权益, 将其内容特此明确地以其整体通过援引并入。

背景技术

技术领域

[0004] 所公开技术总体上涉及半导体制造, 且更特别地涉及循环沉积中的前体递送。

[0005] 相关技术的描述

[0006] 随着半导体装置在横向尺寸上不断按比例缩小, 半导体装置的竖直尺寸存在相应地按比例缩小, 包括功能性薄膜 (诸如电极和电介质) 的厚度按比例缩小。半导体制造涉及在整个工艺流程中沉积及图案化的各种薄膜。半导体制造中所采用的薄膜可使用各种技术形成, 包括湿沉积法及干沉积法。湿沉积法包括, 例如, 气溶胶/喷雾沉积、溶胶-凝胶方法和旋涂。干沉积法包括基于物理气相的技术, 例如, 物理气相沉积 (PVD) 和蒸发。干沉积法另外包括基于前体和/或化学反应的技术, 例如, 化学气相沉积 (CVD) 和循环沉积 (诸如原子层沉积 (ALD))。

发明内容

[0007] 在一方面, 薄膜沉积系统包括薄膜沉积室, 所述薄膜沉积室被配置成通过使衬底交替暴露于多种前体而沉积薄膜。所述薄膜沉积系统被配置成通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积 (ALD) 阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中, 所述第一原子层沉积 (ALD) 阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中。

[0008] 在另一方面, 沉积薄膜的方法包括使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使所述衬底交替地暴露包括通过各自被配置成供应所述前体中的一种的两个或更多个原子层沉积 (ALD) 阀将所述前体中的所述一种引入到所述薄膜沉积室中, 其中所述两个或更多个第一原子层沉积 (ALD) 阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述一种供应到所述薄膜沉积室中。

[0009] 在另一方面, 沉积薄膜的方法包括在多个循环中使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积 (ALD) 阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中, 所述第一原子层沉积 (ALD) 阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中。

独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的同一循环期间在将所述前体中的所述第一前体引入到所述薄膜沉积室中期间的至少部分时间同时打开所述两个或更多个第一ALD阀。

[0010] 在另一方面,沉积薄膜的方法包括在多个循环中使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中。独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的第一循环期间致动所述两个或更多个第一ALD阀中的第一阀以及在所述循环中的第二循环期间致动所述两个或更多个第一ALD阀中的第二阀。

[0011] 在另一方面,沉积薄膜的方法包括在多个循环中使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使所述衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将所述前体中的第一前体引入到所述薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将所述前体中的所述第一前体供应到所述薄膜沉积室中。独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的同一循环期间通过交替地打开所述两个或更多个第一ALD阀中的不同阀而以多个脉冲使所述衬底暴露。

附图说明

[0012] 图1示意性地说明根据实施方式的包括薄膜沉积室和前体递送系统的薄膜沉积系统,前体递送系统被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个原子层沉积(ALD)阀来递送前体。

[0013] 图2为根据实施方式的被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个原子层沉积(ALD)阀来递送前体的前体递送系统的示意图。

[0014] 图3A示出了根据实施方式的被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀来递送前体的前体递送系统的多阀块组件的透视图。

[0015] 图3B示出了根据实施方式的图3A中所说明的多阀块中的一个的透视图,多阀块被配置成与并联连接至共有气体分布板的多个ALD阀联接。

[0016] 图3C示出了根据实施方式的被配置成联接至图3B中所说明的多阀块的ALD阀中的一个的透视图。

[0017] 图3D是根据实施方式的说明了各种与ALD阀(诸如图3C中所说明的ALD阀)的致动相关联的信号的示例性实验图表。

[0018] 图4示出了根据实施方式的包括多个处理站的沉积室的顶部外部部分的透视图,所述多个处理站各自被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀来递送前体。

[0019] 图5A说明了根据一些实施方式的用于沉积薄膜的示例性前体递送顺序,包括在一个循环中使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀的前体的暴露顺序。

[0020] 图5B说明了根据关于图5A所说明的递送顺序的使用 TiCl_4 和 NH_3 对TiN进行循环沉积或ALD的一个特定实例的前体递送条件。

[0021] 图6说明了根据一些实施方式的用于沉积薄膜的示例性前体递送顺序,包括在两

个或多个循环中使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀的前体的暴露顺序。

[0022] 图7说明了根据一些实施方式的用于沉积薄膜的示例性前体递送顺序,包括在一个循环中使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀来递送前体的多个脉冲的前体的暴露顺序。

[0023] 图8示意性地说明了用根据实施方式沉积的薄膜层加衬里的通孔的截面视图。

具体实施方式

[0024] 循环沉积工艺(诸如原子层沉积(ALD)工艺)可以在相对高纵横比(例如,2:1)结构上提供具有高均匀性和厚度精度的相对保形的薄膜。虽然与ALD相比,保形性及均匀性通常较差,但使用连续沉积工艺(诸如化学气相沉积(CVD))沉积的薄膜可提供更高生产率以及更低成本。ALD及CVD可用于沉积多种不同膜,仅举几例,包括元素金属、金属化合物(例如,TiN、TaN等)、半导体(例如,Si、III-V等)、电介质(例如, SiO_2 、AlN、 HfO_2 、 ZrO_2 等)、稀土氧化物、导电氧化物(例如, IrO_2 等)、铁电体(例如, PbTiO_3 、 LaNiO_3 等)、超导体(例如, $\text{Yb}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$)及硫属化物(例如,GeSbTe)。

[0025] 一些循环沉积工艺(诸如原子层沉积(ALD))包括使衬底交替暴露于多种前体以形成薄膜。不同前体可交替地使衬底的表面至少部分地饱和并彼此反应,从而以逐层方式形成薄膜。因为逐层生长能力,所以ALD可能精确控制厚度和组成,这进而可以精确控制各种性质,诸如电导率、保形性、均匀性、阻挡(barrier)性质以及机械强度。因为ALD中沉积工艺的性质,所以相对于例如CVD沉积系统的前体递送系统,ALD沉积系统的前体递送系统面临独特挑战。例如,因为使衬底交替暴露于多种前体是以相对高速度和/或以相对高频率重复进行,所以前体递送系统或其部件(诸如前体递送阀)可直接地或间接地对ALD沉积工艺的各种方面(包括其精度、处理量、可靠性及操作成本)造成限制。

[0026] 如本文描述,原子层沉积(ALD)阀是指前体递送阀,其被配置成以具有高精度和速度(例如,响应时间小于30ms)的脉冲将前体引入到ALD沉积室中同时具有高流量系数(例如, C_v 超过0.20)。因为通过ALD沉积薄膜可以涉及数个至多达数千个交替暴露于不同前体的循环,ALD阀的阀参数(诸如流量、速度和/或频率)可直接影响沉积处理量和前体使用效率。另外,在预防性维护服务之间ALD阀的磨损可限制一些ALD系统的使用寿命。在高温下递送的一些前体进一步可限制一些ALD系统的处理量和使用寿命。

[0027] 因此,需要前体递送系统以改进处理量及速度、较长故障时间、较佳温度兼容性以及较低维护。这些能力可显著地降低ALD系统的总制造成本以及拥有成本。

[0028] 具有用于递送相同前体的两个或更多个ALD阀的前体递送系统

[0029] 为了解决上文所提及的需求等,根据实施方式的薄膜沉积系统包括被配置成通过使衬底交替地暴露于多种前体来沉积薄膜的薄膜沉积室,其中薄膜沉积室被配置成针对前体中的相同前体使用两个或更多个原子层沉积(ALD)阀将前体中的一种或多种引入到薄膜沉积室中。配置通过两个或更多个ALD阀允许例如一种或多种前体的组合流量,其远高于常规薄膜沉积系统,使得ALD循环的持续时间可显著减少。例如,暴露于前体的持续时间可与用于引入相同前体的ALD阀的数目成比例地减少。例如,通过采用n数目个ALD阀以引入给定前体,暴露时间可大致减少相同n倍,同时实现使用仅一个ALD阀将实现的类似表面饱和水

平。

[0030] 在下文中,可以通过实例使用特定膜的特定前体来描述实施方式。例如,可使用用于沉积TiN和/或TiSiN的包括TiCl₄、NH₃和SiCl₂H₂的特定示例性前体以描述根据各种实施方式的薄膜沉积系统和沉积薄膜的方法。然而,将理解的是实施方式不限于此,且本发明方面可应用于前体的任何合适组合以沉积可使用循环沉积工艺(诸如ALD)形成的任何合适薄膜。

[0031] 图1示意性地说明了根据实施方式的被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个原子层沉积(ALD)阀来递送气体的薄膜沉积系统。薄膜沉积系统100包括薄膜沉积室102和前体递送系统106,该前体递送系统被配置成将多种前体递送到沉积室102中。所说明的沉积室102被配置成在工艺条件下在支撑件116(例如,基座)上加工衬底120。沉积室102另外包括喷嘴108,该喷嘴被配置成穿过气体分布板112(也称为淋喷头)将多种前体集中排出到沉积室102中。喷嘴108可在通过气体分布板112将气体(例如,前体及吹扫气体)扩散到沉积室102中之前混合气体。气体分布板112被配置成将一种或多种前体均匀扩散在基座116上的衬底120上,使得发生均匀沉积。沉积室可以配备有压力监测传感器(P)和/或温度监测传感器(T)。

[0032] 前体递送系统106被配置成将来自前体源(120,124)的多种前体及来自吹扫气体源(128)的一或多种吹扫气体(例如,惰性气体)递送到处理室中。前体和吹扫气体中的每一种是由各自气体递送管线连接至沉积室102。气体递送管线在其路径中另外包括质量流量控制器(MFC)132和用于将各自前体引入到薄膜沉积室中的各自前体阀。阀中的至少一些可以是原子层沉积(ALD)阀。气体递送管线通过气体分布板112连接至沉积室102。

[0033] 有利地,根据各种实施方式,薄膜沉积系统100被配置成使得可通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将前体中的至少一种引入到沉积室102中,该第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至气体分布板112以将前体中的一种供应到薄膜沉积室102中。

[0034] 仅出于说明性目的,在图1所说明的配置中,多种前体包括第一前体和第二前体。第一前体储存于至少两个第一前体源120-1、120-2中,而第二前体储存于至少两个第二前体源124-1、124-2中。吹扫气体可储存于至少两个吹扫气体源128-1、128-2中。第一前体被配置成通过独立地致动并联连接至共有气体分布板112的两个各自第一前体原子层沉积(ALD)阀140-1、140-2而从第一前体源120-1、120-2递送。另外,第二前体被配置成通过独立地致动并联连接至共有气体分布板112的两个各自第二前体原子层沉积(ALD)阀144-1、144-2而从第二前体源124-1、124-2递送。另外,吹扫气体被配置成通过独立地致动并联连接至共有气体分布板112的两个各自吹扫气体原子层沉积(ALD)阀148-1、148-2而从吹扫气体源128-1、128-2递送。ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、148-1及148-2以及连接至气体分布板112的各自递送管线可被布置成通过可附接至沉积室102的盖子的多阀块组件150(图3A)将各自气体进料到喷嘴108中。在所说明的配置中,ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、148-1和148-2为在将各自气体引入到沉积室102中之前的最终阀。

[0035] 如所配置的,薄膜沉积系统100被配置成通过两个或更多个分开的气体管线且使用独立控制的各自ALD阀来递送前体和/或吹扫气体。取决于实施方式,相同前体和/或吹扫气体的递送脉冲可在时间上重叠或不重叠。

[0036] 仅通过实例,第一和第二前体可分别包括TiCl₄和NH₃,其通过各自前体递送管线而

从各自 TiCl_4 和 NH_3 源递送到沉积室102中以形成例如TiN。前体递送系统可另外被配置成通过吹扫气体递送管线将作为吹扫气体的Ar从Ar源递送到处理室中。如图1中所示,吹扫气体可作为可通过前体ALD阀递送的连续吹扫(CP)气体递送,和/或作为可通过专用吹扫气体ALD阀递送的快速吹扫(RP)气体递送。所说明的前体递送系统100可被配置成通过各自吹扫气体递送管线和吹扫气体ALD阀148-1、148-2将作为RP气体的Ar从吹扫气体源128-1、128-2递送到处理室102中。

[0037] 根据各种实施方式,薄膜沉积系统100被配置成用于在不借助于等离子体的情况下进行热ALD。虽然等离子体增强工艺诸如等离子体增强原子层沉积(PE-ALD)可有效地在具有相对低纵横比的表面上形成保形膜,但此类工艺可能无法有效地在具有相对高纵横比的通孔及腔内部沉积膜。在不受理论约束的情况下,针对此的一个可能原因在于,在一些境况下,等离子体可能无法到达高纵横比通孔的较深部分。在这些境况下,通孔的不同部分可暴露于不同量的等离子体,从而导致由非均匀沉积引起的非所要结构效应,诸如相较于较深部分(有时被称为尖化或键孔形成),在通孔的开口附近沉积较厚膜。由于这些原因,热循环气相沉积诸如热ALD可更为有利,因为这样的热工艺不取决于等离子体到达其所沉积的表面的部分的能力。

[0038] 所说明的前体递送系统100尤其有利地提供以下能力:通过重叠启动两个或更多个ALD阀,使用两个或更多个ALD阀提供给定前体的组合流量,其远高于常规薄膜沉积系统。如此,ALD循环的持续时间可显著减少,ALD循环期间的气体流量可显著地增加,或两者。例如,暴露于前体的持续时间可与用于引入相同前体的ALD阀的数目成比例地减少。此外,通过重叠启动两个或更多个ALD阀,在暴露期间沉积室102内部的压力可有利地提高至无法用单一ALD阀达到的水平,例如>1托。

[0039] 另外或替代地,所说明的前体递送系统100有利地通过快速交替启动两个或更多个ALD阀来提供以下能力:在脉冲之间的停滞时间较少的情况下在相同子循环内使用给定前体的重复脉冲来递送给定前体。

[0040] 另外或替代地,所说明的前体递送系统100有利地通过交替地启动两个或更多个ALD阀来提供以下能力:ALD阀的磨损可成比例地减少,从而降低更换或维修ALD阀可需要的预防维护的频率。

[0041] 图2为根据实施方式的被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个原子层沉积(ALD)阀来递送前体的前体递送系统的示意图。根据实施方式,前体递送系统206以与图1中所说明的前体递送系统106类似的方式连接至沉积室102。沉积室102被配置成通过八个前体ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、220-1、220-2、220-3、220-4递送三种前体,且通过两个吹扫气体ALD阀144-1、144-2递送吹扫前体例如惰性气体,其中三种前体及吹扫气体中的每一种是通过两个或更多个前体和吹扫气体ALD阀中的各自阀递送。特别地,仅通过实例,所说明的前体系统206可被配置成通过两个前体ALD阀递送 TiCl_4 ,通过两个前体ALD阀递送 SiCl_2H_2 并且通过四个前体ALD阀递送 NH_3 。前体系统206也可被配置成通过两个或更多个吹扫ALD阀递送惰性气体,例如Ar。特别地,仅通过实例,所说明的前体递送系统206被配置成用于形成包括Ti、Si及N中的任一种(例如,TiN、TiSi或TiSiN)的薄膜。例如,系统206被配置成通过两个第一前体ALD阀140-1、140-2递送第一前体(前体1),例如 TiCl_4 ,通过两个第二前体ALD阀144-1、144-2递送第二前体(前体2),例如 SiCl_2H_2 ,且通过四个第三前

体ALD阀220-1、220-2、220-3、220-4递送第三前体(前体3),例如 NH_3 。前体递送系统206另外被配置成通过两个吹扫ALD阀144-1、144-2递送吹扫气体,例如 N_2 或Ar。ALD阀和连接至其上的各自递送管线可被布置成通过可附接至沉积室102的盖子的多阀块组件250将各自前体和吹扫气体进料到沉积室102中。

[0042] 将了解,所说明的前体ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、220-1、220-2、220-3、220-4中的每一个被配置成三通阀,该三通阀被配置成同时将连续吹扫(CP)气体和前体气体接收到各自入口端口中且从出口端口输出CP气体和前体气体且将其输出到沉积室102中。例如,CP吹扫气体,例如Ar或 N_2 ,通过一个入口(第一)端口进入且通过离开出口(第二)端口离开。前体气体通过另一入口(第三)端口进入且也通过离开出口(第二)端口离开。入口端口为递送相对小化学体积的小的精确的孔口。此三端口配置可将稳定CP气体流递送到处理站中,同时使前体气体脉冲。CP气体用于连续吹扫各自递送管线,促进前体移动到沉积室中,且控制沉积期间的总工艺压力。另一方面,所说明的吹扫气体ALD阀148-1、148-2中的每一个被配置为两通阀,该两通阀被配置成将快速吹扫(RP)气体接收到入口端口中且将RP气体输出到沉积室102中。如所配置的,吹扫气体可作为连续吹扫(CP)气体通过所说明的前体ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、220-1、220-2、220-3、220-4中的每一个递送,和/或作为快速吹扫(RP)气体通过所说明的吹扫气体ALD阀148-1、148-2中的每一个递送。本发明人已发现,使CP流动通过前体ALD阀的能力可尤其使实现吹扫递送管线所需的较短RP脉冲持续时间,从而改进总速度和处理量。

[0043] 图3A示出了根据实施方式的被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个原子层沉积(ALD)阀来递送前体的前体递送系统的多阀块组件的透视图。对应于图2中示意性地描绘的多阀块组件250的多阀块组件250类似地对应于图1中示意性地描绘的多阀块组件150。多阀块组件250分为两个半部,各自包括第一和第二多阀块304-1、304-2中的一个。第一和第二多阀块304-1、304-2中的每一个具有连接至其上的多个ALD阀。在所说明的实施方式中,第一多阀块304-1被配置成通过连接至其上的两个第一前体ALD阀140-1、140-2递送第一前体(前体1),例如 TiCl_4 ,且通过连接至其上的两个第二前体ALD阀144-1、144-2递送第二前体(前体2),例如 SiCl_2H_2 。第一多阀块304-1进一步被配置成通过连接至其上的第一吹扫气体ALD阀148-1递送吹扫气体,例如, N_2 或Ar。第二多阀块304-2被配置成通过连接至其上的四个前体ALD阀220-1、220-2、220-3、220-4递送第三前体(前体3),例如, NH_3 。第二多阀块304-2进一步被配置成通过连接至其上的第二吹扫气体ALD阀148-2递送吹扫气体,例如, N_2 或Ar。根据实施方式,如此配置的多阀块组件250包括两个或更多个原子层沉积(ALD)阀,该原子层沉积(ALD)阀被配置成递送三种前体的相同前体和吹扫气体。所说明的多块组件250具有联接至其上的10个ALD阀。然而,实施方式不限于此且ALD阀的数目可大于或小于10。

[0044] 仍参考图3A,多阀块组件250在底部处连接至沉积室102的盖子的顶表面的中心区(图1)。盖子的顶表面在物理上位于沉积室102外部。如所配置的,多阀块组件250被配置成将ALD阀放置于沉积室102内部的衬底的中心区正上方。前体和吹扫气体ALD阀连接至设置在薄膜沉积室102外部的多阀块组件250,且多块组件250被配置成充当枢纽,以接收前体和吹扫气体并且通过各自ALD阀将其引入到薄膜沉积室100中(图2)。在处理室内部,盖子具有附接至其上的喷嘴108(图1),该喷嘴进而连接至气体分布板112(图1),也称为淋喷头,其被

配置成将一种或多种前体扩散在基座116上(图1)的衬底120上(图1)。

[0045] 图3B示出了根据实施方式的图3A中所说明的多阀块中的一个的透视图,多阀块被配置成与并联连接至共有气体分布板的多个ALD阀联接。多阀块(其可以是具有形成于其中的导管或通道的固体块)被设置在薄膜沉积室102外部(图1,2),并充当枢纽,以接收前体中的第一前体且通过多阀块中界定的内部导管或通道引导前体和吹扫气体。特别地,图3B示出了图3A中所说明的第一多阀块304-1的透视图。为清楚起见,第一多阀块304-1被示出其未附接ALD阀。而是,对于被配置成用于递送第一前体(前体1)(例如, $TiCl_4$)的两个第一前体ALD阀140-1、140-2,被配置成用于递送第二前体(前体2)(例如, $SiCl_2H_2$)的两个第二前体ALD阀144-1、144-2,以及被配置成用于递送惰性气体的第一吹扫气体ALD阀148-1,通过虚线圆圈表示附接位置。两个第一前体ALD阀140-1、140-2和两个第二前体ALD阀144-1、144-2的附接位置中的每一个包括入口(IN)、出口(OUT)和惰性气体入口(INERT)。不同于前体ALD阀(其为如上述的三通ALD阀),用于第一吹扫气体ALD阀148-1(其为如上述的两通ALD阀)的附接位置包括入口(IN)和出口(OUT)而省略惰性气体入口。

[0046] 第一多阀块304-1包括多个气体输入端口308、312、316、320用于接收前体和吹扫气体。在所说明的配置中,类似于图2和图3A中所示出了的配置,输入端口308和312被配置成用于进料第一前体(前体1)(例如 $TiCl_4$)和第二前体(前体2)(例如 $SiCl_2H_2$)。另外,输入端口316、320被配置成用于进料吹扫气体,例如, N_2 或Ar,其分别作为快速吹扫(RP)和连续吹扫(CP)气体用于递送。尽管未示出,但除了第三前体(前体3)进料到两个前体输入端口308和312中之外,第二多阀块304-2可以进行相似配置。当然,输入端口不限于所说明的配置且可存在另外或更少的输入端口,这取决于气体数目和递送管线/ALD阀的数目/所需气体。

[0047] 仍参考图3B,一旦通过输入端口308、312、316、320进入,各自前体和吹扫气体发送通过各自导管,之后被引入到各自ALD阀中。前体中的每一种通过各自入口进入ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2中的各自ALD阀。CP气体通过吹扫气体入口(INERT)中的各自入口进入前体ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2中的每一个。前体和CP气体中的各自前体和CP气体通过出口(OUT)中的各自出口离开且行进通过出口导管328中的各自出口导管,之后引入到在竖直方向上延伸的中心导管324中,之后通过中心出口332离开第一多阀块304-1,例如通过喷嘴108(图1)及气体分布板112(图1)进入沉积室102中(图1及图2)。

[0048] 可设置在衬底120(图1)的中心区上方的中心导管324被配置成合并来自多个ALD阀的前体和吹扫气体,之后通过,例如,喷嘴108(图1)引入到沉积室内,然后通过气体分布板112(图1)分布。因此,在所说明的配置中,中心导管324是在将前体和吹扫气体引入到沉积室102中之前的最终导管。本发明人已发现多阀块组件250(图3A)的配置(包括中心设置位置和导管的布置)对于实现各种优点(包括快速前体递送时间)可以是至关重要的。例如,本发明人已发现设置在衬底120(图1)的表面竖直上方的ALD阀的竖直位置对于达到用各前体使衬底表面基本上饱和的小于1秒暴露时间可以是至关重要的。如本文描述,基本上饱和是指增加暴露时间基本上不增加生长率的情况。例如,对于各种材料,暴露时间增加20%、50%、100%,或在由这些值中的任一个界定的范围内的值不会导致生长率增加超过1%、2%、5%、10%或在由这些值中的任一个界定的范围内的值。

[0049] 特别地,仍参考图3B,在各种设计参数中,本发明人已发现前体和吹扫气体ALD阀的出口(OUT)的竖直位置(其界定了从ALD阀至中心出口332的距离和中心导管324的直径,

其组合界定了中心导管324的传导)对于减少前体从ALD阀至衬底的停留时间可以是至关重要的。为减少前体停留时间,根据各种实施方式,前体和吹扫气体ALD阀的出口(OUT)相对于中心出口332(其界定了中心导管324的底端)的竖直位置(其最大值由中心导管324的长度界定)小于5”、4”、3”、2”、1”或具有在由这些值中的任一个界定的范围内的值。另外,中心导管324具有大于0.2”、0.30”、0.40”、0.50”、0.60”或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的直径。在所说明的实例中,中心导管324的长度为约3.7”并且前体ALD阀140-1、140-2、144-1和144-2中的每一个的出口被设置在中心出口332的约2.0”内。因为用于引入快速吹扫(RP)的第一吹扫ALD阀148-1的OUT被设置在前体ALD阀140-1、140-2、144-1和144-2上方,所以第一吹扫ALD阀148-1的OUT被设置得更远,在中心出口332的约4”内。另外,中心导管324具有0.375”的直径。

[0050] 本发明人已进一步发现,出口导管328的长度(其界定了自ALD阀的出口(OUT)至中心导管324的传导)和出口导管328的直径(其组合界定了出口导管328的传导)对于减少前体从ALD阀至衬底的停留时间也可以是至关重要的。为减少前体停留时间,根据各种实施方式,出口导管328可被设计以具有小于2”、1.5”、1”、0.5”或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的长度。另外,出口导管328具有大于0.10”、0.20”、0.30”、0.40”或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的直径。在所说明的实例中,出口导管328的长度和直径分别为0.86”和0.216”。

[0051] 仍参考图3B,本发明人已进一步发现,在输入端口308、312、316、320与中心出口332之间的导管的总长度中的弯头(bends)数目可保持为低,以改进通过导管的传导,且从而改进传导和至衬底的气体递送时间。根据各种实施方式,弯头数目不超过三、二或一个。在所说明的实例中,在输入端口308、312、316、320与中心出口332之间的导管的总长度的每一个中的弯头数目不超过四个,-在输入端口308、312、316、320与ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、148-1的各自IN之间两个或三个弯头,且在ALD阀的各自OUT与中心出口332之间一个弯头。

[0052] 此外,本发明人已进一步发现,使多阀块250、中心导管324和/或中心出口332(图3B)的中心竖直轴线与沉积室的盖子和/或衬底的中心位置紧密对准是有利的,以使气体停留时间和/或至衬底的气体递送时间最小化。根据各种实施方式,在多阀块250、中心导管324和/或中心出口332(图3B)的中心竖直轴线与沉积室的盖子和/或衬底的中心位置之间的横向偏移不超过2”、1”、0.5”、0.25”或具有在由这些值中的任一个界定的范围内的值。

[0053] 仍参考图3B,如此配置的,被配置成递送相同气体(前体或吹扫气体)的多个ALD阀可在上游共同连接至输入端口308、312、316、320中的共有端口。在分成单独入口导管并进料到各自ALD阀中之后,各气体通过共有中心导管324被递送到沉积室102(图1,2)中。如此配置的,连接至第一多阀块304-1的两个或更多个原子层沉积(ALD)阀被有利地配置成将相同气体同时或依次供应到沉积室中。

[0054] 图3C示出了根据实施方式的被配置成联接至图3B中所说明的多阀块的ALD阀中的一个的透视图。根据实施方式,所说明的ALD阀350可表示上文关于图3A和3B描述的第一前体ALD阀140-1、140-2、第二前体ALD阀144-1、144-2以及吹扫气体ALD阀148-1中的一个。所说明的ALD阀350分成联接至多阀块诸如图3B中所说明的多阀块的上部部分354和下部部分358。上部部分354和下部部分358由气动联接上部部分和下部部分354、358的联接部分362

连接。所说明的ALD阀350另外包括用于温度感测和/或控制的热电偶单元366。上部部分354包括气动致动器组件以及各种其他部件,该气动致动器组件包括电磁先导阀。下部部分358包括阀体部分以及各种其他部件,该阀体部分包括阀体、阀隔膜和阀座。阀隔膜的位置可由位置传感器监测。如所配置的,ALD阀350可被配置为先导式隔膜电磁阀。如本文描述,先导式电磁阀是指使用阀端口上的介质的差压来打开和关闭阀的电磁阀。先导式隔膜电磁阀利用使用隔膜正上方的小腔室来辅助操作阀。允许工艺流体通过入口端口中的小孔口进入腔室,并且在通常关闭的阀中,压缩隔膜并对座施力以保持关闭密封。一旦电流被施加至先导电磁线圈(solenoid),隔膜就会抵抗弹簧压力被向上拉动,且使得腔室中的引导流体通过入口端口中的孔口返回,在入口端口中,引导流体重新与通过阀体的主流汇合。先导式隔膜电磁阀可以以高速度(响应时间小于30msec)操作。另外,相较于直接作用式电磁阀,先导式隔膜电磁阀可提供相对高的流量且可在更高压力以及温度范围下操作,其中功率消耗更低。

[0055] 图3D是根据实施方式的说明了各种与ALD阀(诸如图3C中所说明的ALD阀)的致动相关联的信号的示例性实验图表。通过实例,实验图表说明了对应于以电子方式从阀控制器发送至ALD阀的命令信号的曲线370-1、对应于电磁先导阀电分布的曲线370-2、对应于隔膜位置的曲线370-3和对应于电子位置传感器信号的曲线370-4。在操作中,当由阀控制器给出如曲线370-1中所示的命令信号时,先导阀被启动,如曲线370-2中所示。在电磁先导阀完全打开时,隔膜改变其位置并且阀打开,如曲线370-3中所示。如图3D中所示出,如由传感器验证的阀的打开与先导阀打开之间的持续时间限定致动速度。在阀完全打开后,位置传感器感测隔膜的位置并确定阀已完成其打开。如本文定义的,ALD阀的响应时间对应于如图3D中所说明的其从命令信号从阀控制器以电子方式发送至ALD阀的时间至如由隔膜位置传感器感测的ALD阀完全打开或关闭的时间所花费的时间。对于所说明的ALD阀,致动速度小于5ms,而响应时间小于15ms。

[0056] 如上文所论述的,本文中公开的所述前体递送系统通过两个或更多个ALD阀允许前体的组合流量,其远高于常规薄膜沉积系统,使得ALD循环时间可显著减少。另外,本发明人已发现ALD循环的持续时间可通过本文公开的各种其他改进而减少。

[0057] 本发明人已发现减小在一个或多个ALD阀的出口(OUT)与衬底之间的距离(阀至衬底的距离)可有利且至关重要地进一步减少对于足够基本上表面饱和所需的时间和/或ALD循环时间。因此,根据实施方式,根据实施方式的ALD阀被设置在各处理站的盖子部分的正上方,该盖子部分进而被设置在相应基座上方。相对于衬底的主表面(图1),ALD阀被,例如,设置在30”、25”、20”、15”、10”、5”、3”内或在由这些值中的任一个界定的范围内的距离,或50cm、40cm、30cm、20cm、10cm、5cm或在由这些值中的任一个界定的范围内的距离。阀至衬底的距离可为如上文关于图3B所描述的在前体ALD阀的出口(OUT)相对于中心出口332(图3B)(界定了中心导管324(图3B)的底端)之间的竖直距离和从中心出口332至衬底表面的竖直距离的总和。

[0058] 本发明人已发现在一个或多个ALD阀的一个或多个致动器与先导阀的电磁线圈之间的管路布置可以进一步影响ALD阀响应时间。特别地,本发明人已发现减少管路长度有利地减少阀响应时间。本发明人已发现通过减少在上部部分354(图3C)中ALD阀的致动器组件与下部部分358(图3C)中阀体部分之间的管路长度(其直径可以是1/8”或1/4”),且更特别

地,例如,在致动器组件中的电磁线圈与本体中的隔膜之间的距离,可进一步减少响应时间。根据实施方式,此距离小于5”、4”、3”、2”、1”、0.5”,或具有在由这些值中的任一个界定的范围内的值,或10cm、8cm、6cm、4cm、2cm、1cm或在由这些值中的任一个界定的范围内的值。例如,通过将长度从36英寸减少至3英寸,发现可减少响应时间多达10ms。

[0059] 如此配置的,根据实施方式的ALD阀被配置成以相较于ALD系统中的常规阀显著改进的致动速度和响应时间来操作。根据各种实施方式,ALD阀的致动速度可减少至小于10ms、5ms、4ms、3ms、2ms,或在由这些值中的任一个界定的范围内的值,而响应时间可减少至小于30ms、25ms、20ms、15ms、10ms、5ms,或在由这些值中的任一个界定的范围内的值。这些值可例如以50-90psig致动压力实现。

[0060] 本发明人还发现,应将阀系数优化以增加给定压降的流量来增强响应时间。根据各种实施方式,ALD阀具有超过0.20、0.30、0.40、0.50、0.60、0.70或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的阀流量系数(C_v)。

[0061] 在一些情况下,根据实施方式的ALD阀被有利地配置以在高温下操作。例如,当需要在高温下将前体(例如,汽化的液体前体)引入到沉积室中时,可有利地将相应ALD阀和/或多阀块加热至大于室温的温度,例如,以匹配引入到多阀块中时的前体温度。根据各种实施方式,ALD阀被配置成在超过80°C、100°C、150°C、200°C、250°C或在由这些值中的任一个界定的范围内的温度的阀温度下操作。特别地,再次参考图3C,下部部分358可包括用于加热线体部分的加热器。在这些实施方式中,联接部分362可以包括绝热外壳部分以减小对上部分354的加热效应,因为加热可以对致动器组件的操作产生不利影响,例如,降低致动速度的再现性。

[0062] 根据各种实施方式,ALD阀中的每一个被配置成用于在更换或维修之前,超过200万、500万、1000万、2000万、5000万、1亿,或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的打开/关闭循环。当对于给定前体使用单个ALD阀时,可在此数目的循环后进行预防性维护。有利地,当交替使用两个或更多个阀以引入给定前体时,可成比例地增加基于每个晶片加工的ALD阀的寿命。将了解增加在预防性维护或腔室打开之间的持续时间可大大增强生产率并降低生产成本。

[0063] 图4示出了可在其中实施各种实施方式的示例性沉积室。图4示出了根据实施方式的包括多个处理站的沉积室的顶部外部部分的透视图,所述多个处理站各自被配置成使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀来递送前体。每个处理站例如以与上文关于图1所描述的类似方式配置,且包括各自盖子部分。再次参考图1,在MFC中的各自MFC后,气体递送管线中的每一个在各自歧管136处分支成多个管线。分支管线中的每一个可将各自气体进料到处理站之一中。所说明的处理室包括一或多个处理站,各自被配置成在工艺条件下以与上文关于图1所描述的类似方式加工在支撑件例如基座上的衬底。各处理站被配置成在包括工艺温度及工艺压力的独特工艺条件下加工衬底。在所说明的实施方式中,存在四个具有对应盖子部分112-1、112-2、112-3、112-4的处理站。盖子部分112-1、112-2、112-3、112-4在其中心位置处在其上附接有多阀块250-1、250-2、250-3、250-4中的各自多阀块。多阀块250-1、250-2、250-3、250-4中的每一个可以与上文关于图3A-3D所描述的类似方式进行配置,为简洁起见,本文中未重复其细节。另外,用于将相同气体递送至多阀块250-1、250-2、250-3、250-4的气体管线从如所示出了的共有歧管136分支,该歧管类似于上

文关于图1所描述的歧管136。根据实施方式,所说明的沉积室因此被配置成针对每一个处理站使用两个或更多个原子层沉积(ALD)阀引入一种或多种前体,阀各自被配置成供应前体和/或吹扫气体。虽然所说明的处理室为多站处理室,但将了解,本文中所公开的实施方式不限于此,且可实施于任何合适的单晶片或多晶片处理室中。

[0064] 对于相同前体使用两个或更多个阀的薄膜沉积方法

[0065] 使用上文所描述的薄膜沉积系统,可实施沉积薄膜的各种有利方法。根据各种实施方式,沉积薄膜的方法包括使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使衬底暴露包括通过两个或更多个原子层沉积(ALD)阀将前体中的一种引入到薄膜沉积室中,所述原子层沉积(ALD)阀各自被配置成供应前体中的一种。

[0066] 图5A说明了根据一些实施方式的用于沉积薄膜的ALD循环的示例性前体递送顺序,包括在一个循环中使用两个或更多个ALD阀的前体的暴露顺序。所说明的沉积薄膜的方法包括使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体(前体1、前体2)。使衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将前体中的第一前体(前体1)引入到薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将前体中的第一前体供应到薄膜沉积室中。独立地致动两个或更多个第一ALD阀包括在将前体中的第一前体引入到薄膜沉积室中期间的至少部分时间同时打开两个或更多个第一ALD阀。

[0067] 所说明的ALD循环包括包含用于使衬底暴露于前体中的第一前体(前体1)的暴露循环500A和500C的第一子循环,以及包含用于使衬底暴露于前体中的第二前体(前体2)的暴露循环500C和500D的第二子循环。所说明的实例示出了在第一子循环期间使用两个第一前体ALD阀140-1、140-2(图1)从两个第一前体源120-1、120-2(图1)引入前体1。致动前体1的两个或更多个前体ALD阀由暴露循环500A和500B表示,暴露循环分别表示气体流经第一前体ALD阀140-1和140-2。暴露循环500A和500B包括通过分别使用两个第一前体ALD阀140-1和140-2将前体1引入到沉积室中而使衬底分别暴露于第一前体(前体1)脉冲504-1和504-2。在前体1脉冲504-1和504-2之后,通过使用第一吹扫气体ALD阀148-1将RP气体引入到沉积室中而使衬底暴露于第一快速吹扫(RP)脉冲508-1和508-2。如所说明的,致动两个第一前体ALD阀140-1、140-2包括在将前体1引入到薄膜沉积室中期间的至少部分时间至少暂时地同时打开两个第一前体ALD阀140-1、140-2。因此,第一前体脉冲504-1和504-2至少部分时间重叠,或者基本上或完全重叠,如所说明的。在所说明的实例中,第一RP脉冲508-1和508-2完全重叠,因为它们是使用相同的第一吹扫气体ALD阀148-1来提供。然而,当使用不同ALD吹扫阀时,吹扫脉冲508-1和508-2可部分时间重叠或者基本上或完全重叠,如所说明的。

[0068] 另外或替代地,如所说明的实例示出,在第二子循环期间,使用可以与上文所描述的类似方式配置的两个第二前体ALD阀140-1、140-2从两个第二前体源124-1、124-2(图1)引入前体2。致动两个或更多个ALD阀由暴露循环500C和500D表示,暴露循环分别表示气体流经第二前体ALD阀144-1和144-2。暴露循环500C和500D包括通过分别使用第二前体ALD阀144-1和144-2将前体2引入到沉积室中而使衬底分别暴露于第二前体(前体2)脉冲516-1和516-2。在前体2脉冲516-1和516-2之后,通过使用第二吹扫气体ALD阀148-2将RP气体引入到沉积室中而使衬底暴露于第二快速吹扫(RP)脉冲520-1和520-2。如所说明的,致动两个

第二前体ALD阀144-1、144-2包括在将前体2引入到薄膜沉积室中期间的至少部分时间至少暂时地同时打开两个第二前体ALD阀144-1、144-2。因此,第二前体脉冲516-1和516-2至少部分时间重叠,或者基本上或完全重叠,如所说明的。在所说明的实例中,第二RP脉冲520-1和520-2完全重叠,因为它们是使用相同的第二吹扫气体ALD阀148-2来提供。然而,当使用不同ALD吹扫阀时,吹扫脉冲520-1和520-2可部分时间重叠或者基本上或完全重叠,如所说明的。

[0069] 如上文描述的,前体ALD阀中的每一个都为三通阀,并且在一些实现方式中,连续吹扫(CP)气体(例如,惰性气体)可流经ALD阀,同时使衬底暴露于第一前体和/或第二前体。本发明人已发现,在ALD循环期间使CP气体流动可有利地减少RP脉冲的暴露时间,从而进一步改进循环时间。在所说明的实施方式中,暴露循环500A-500D进一步包括在暴露于第一前体和第二前体中的一种或两种期间和之后分别使用惰性气体使衬底连续暴露于CP 512-1、512-2、524-1、524-2中的各自CP。快速吹扫的量值高于CP。

[0070] 有利地,如上文所描述的,第一前体(前体1)和第二前体(前体2)中的一种或两种可通过两个或更多个前体ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2中的各自阀引入到薄膜沉积室中。因此,第一前体和第二前体中的一种或两种可以两个或更多个前体ALD阀的组合流量引入到薄膜沉积室中。因此,对于第一前体和第二前体中的一种或两种,达到饱和水平的暴露时间可基本上减少。例如,根据一些实施方式,对于给定前体,相对于仅使用一个前体ALD阀达到饱和水平的暴露时间,暴露时间可减少超过20%、40%、60%、80%或由这些值中的任一个界定的范围内的值。可例如基于如上文所描述的沉积速率的速率推断表面饱和水平。即,相对于仅使用一个ALD阀用于给定前体的ALD工艺,在减少前体的暴露时间超过20%、40%、60%、80%,或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的同时,可达到基本上相同厚度。

[0071] 根据各种实施方式,通过采用两个或更多个前体ALD阀,第一前体(前体1)和第二前体(前体2)中的一种或两种的暴露时间可保持小于1.0秒、0.8秒、0.6秒、0.4秒、0.2秒、0.1秒或由这些值中的任一个界定的范围内的值。薄膜沉积系统被配置成使用两个或更多个前体ALD阀以组合流量引入第一前体和第二前体中的一种或两种,使得衬底的表面基本上达到饱和水平,例如大于40%、60%、80%或由这些值中的任一个界定的范围内的值的饱和水平,尽管暴露时间相对较短。在暴露于前体之后进行快速吹扫的实施方式中,第一子循环和第二子循环中的一个或两个的持续时间可小于1.0秒、0.8秒、0.6秒、0.4秒、0.2秒、0.1秒或由这些值中的任一个界定的范围内的值。通过减少第一前体和第二前体中的一种或两种的暴露时间,可减少相应的第一子循环和第二子循环中的一个或两个的持续时间,从而减少总ALD循环时间。根据实施方式,总ALD循环的持续时间小于2.0秒、1.5秒、1.0秒、0.5秒或由这些值中的任一个界定的范围内的值。

[0072] 图5B仅通过实例说明了根据上文关于图5A所描述的方法的使用 $TiCl_4$ 和 NH_3 对TiN进行循环沉积或ALD的用于递送前体的一个特定示例性前体递送顺序。所说明的上暴露循环可对应于上文关于图5A所描述的暴露循环500A和500B,且可表示通过第一前体ALD阀140-1、140-2进行的 $TiCl_4$ 暴露循环。类似地,所说明的下暴露循环可对应于上文关于图5A所描述的暴露循环500C和500D,且可表示通过第二前体ALD阀144-1、144-2进行的 NH_3 暴露循环。可采用类似于上文关于图1或图4所描述的处理站的处理站。例如,处理站可被配置成

通过两个第一前体ALD阀140-1、140-2(图2)递送 $TiCl_4$ 且通过四个第二前体ALD阀220-1、220-2、220-3、220-4(图2)递送 NH_3 。前体ALD阀140-1、140-2、220-1、220-2、220-3、220-4(图2)中的每一个也被配置成使连续吹扫(CP)气体(例如,惰性气体)连续流经前体ALD阀。处理站也可以被配置成通过两个吹扫气体ALD阀148-1、148-2递送快速吹扫(RP)气体,例如,惰性气体。例如,处理站也可被配置成例如在第一前体脉冲504-1、504-2(图5A)中的一个之后通过吹扫气体ALD阀中的一个148-1递送第一RP脉冲508-1、508-2,且例如在第二前体脉冲516-1、516-2(图5A)中的一个之后通过吹扫气体ALD阀中的另一个148-2递送第二RP脉冲520-1、520-2。所说明的表示出了给定处理站的典型参数和不同ALD阀的流动条件。在此实例中,通过同时通过两个前体ALD阀140-1、140-2(图2)递送 $TiCl_4$ 且同时通过四个前体ALD阀220-1、220-2、220-3、220-4(图2)递送 NH_3 且通过两个吹扫气体ALD阀148-1、148-2中的一个递送 N_2 ,在各自子循环期间,可分别针对 $TiCl_4$ 及 NH_3 达成220sccm及8000sccm的组合流量。与吹扫气体ALD阀148-1、148-2的每一个的5000sccm流量组合,可实现0.5秒的 $TiCl_4$ 暴露子循环时间和0.35秒的 NH_3 暴露子循环时间,总ALD循环时间为1.05秒。

[0073] 有利地,通过使相对高量的前体和CP气体流经两个或更多个前体ALD阀,可实现相对高的腔室压力而不降低沉积室的泵抽功率。本发明人已发现,当衬底具有相对高表面积(例如,由相对高面积密度的高纵横比结构引起)时,使用ALD工艺配方以薄膜涂覆暴露表面可以产生在暴露表面的不同部分具有不同特性的薄膜,工艺配方的开发是基于在平面或未图案化衬底或具有相对低表面积或低面积密度的高纵横比结构的衬底上形成的薄膜的表征。例如,如上述的保形性或阶梯覆盖率在其具有相对高面积密度的衬底的高纵横比结构中可以是显著更差的。在暴露表面的不同部分也可不同的其他特性包括膜化学计量、表面粗糙度、电阻率和膜密度,仅举几例。不受任何理论束缚,特性的低均匀性的一个原因可以是衬底相对于平面衬底显著增加的暴露表面积。因为暴露表面积增加,所以暴露表面的不同部分可接收不同量值的前体通量,使得不同量的前体可吸附于暴露表面的不同部分上。仅通过简化实例,当300mm半导体衬底在其上已形成数百个各自具有约 1×10^{10} 或更多个晶体管的晶粒(dies)并且每个晶体管具有一个或多个具有直径为10-100nm和纵横比为1至100的通孔时,在薄膜的沉积期间,暴露于前体的表面积可超过相应未图案化衬底的表面积的10、100、1000或更大。另外,暴露表面的不同部分处的局部沉积条件可以是不同的。例如,相较于深沟槽或通孔外部的区域,深沟槽或通孔内部的局部压力可以是不同的,例如,较低。另外,在真空条件下,因为气体分子与沟槽或通孔的侧壁发生更多的碰撞,所以深沟槽或通孔的上部部分因受较高通量而可吸附较高量的前体分子。

[0074] 根据本文描述的各种实施方式,尤其通过利用较高沉积压力,本发明人已发现本文描述的沉积方法特别有利于在暴露表面的不同部分形成关于各种物理特性(包括保形性、阶梯覆盖率、膜化学计量、表面粗糙度、电阻率和膜密度,仅举几例)具有较高均匀性的包括 $TiSiN$ 和/或 $TiAlN$ 的薄膜。因此,根据本文公开的沉积方法形成的包括 $TiSiN$ 和/或 $TiAlN$ 的薄膜在局部(例如,在沟槽或通孔内)和整体(例如,在晶片内)水平两者上关于这些物理特性中的一个或多个均具有较高均匀性。因此,根据实施方式的沉积方法特别有利于在包括表面形貌的衬底上形成包括 $TiSiN$ 和/或 $TiAlN$ 的薄膜,使得暴露于一个或多个气相沉积循环的半导体衬底的表面积与相应未图案化的半导体衬底的表面积的比率超过2、5、10、20、50、100、200、500、1000或具有在由这些值中的任一个界定的范围内或更高的比率。

[0075] 替代地或另外,根据实施方式的沉积方法另外特别有利于在衬底上形成薄膜,该衬底包括高纵横比结构,该结构具有小于1微米、500nm、200nm、100nm、50nm、20nm或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的开口宽度,超过5、10、20、50、100、200或在由这些值中的任一个界定的范围内的值的纵横比,以及使得表面积大于如上述的平面衬底的表面积的面积密度。具有此形貌的衬底可用根据实施方式的包括TiSiN和/或TiAlN的薄膜保形涂覆,具有如上文定义的超过50%、60%、70%、80%、90%、95%,或具有在由这些值中的任一个界定的范围内的值或更高的阶梯覆盖率。如上文讨论的,本发明人已发现用于保形涂覆具有相对高面积密度的高纵横比结构的衬底的工艺条件可根据实施方式优化以实现这些结果。本发明人已发现这些结果可以尤其通过控制在衬底的暴露期间反应室压力或前体的分压力、沉积速率、引入到反应室中的前体的温度或压力、前体的流量和暴露时间(仅举几例)来实现。

[0076] 本发明人已发现根据实施方式,当涂覆具有相对高面积密度的高纵横比结构的衬底时,使用两个或更多个前体ALD阀的同时启动达到的相对较高的总压力或分压力可导致保形性和阶梯覆盖率的改进。不受任何理论束缚,此改进尤其可以与高纵横比的通孔或沟槽内部的前体的局部降低的分压力的效应减小相关联。根据实施方式,在给定子循环期间,在使衬底暴露期间,单独前体(例如,Ti前体、N前体和/或Si和/或Al)中任一种的总压力或分压力可以是1.0-3.0托、3.0-5.0托、5.0-7.0托、7.0-9.0托、9.0-11.0托、11.0-13.0托、13.0-15.0托,或在由这些值中的任一个界定的范围内的压力。在暴露于Ti前体、N前体和/或Si和/或Al前体的每一个中,各自前体可构成反应室中气体分子的总量的1-2%、2-5%、5-10%、10-20%、20-50%、50-100%或在由这些值中的任一个界定的范围内的百分比。本发明人已发现,在一些情况下,当总压力或分压力在这些值外时,尤其阶梯覆盖率可以开始下降。

[0077] 本发明人已发现,在某种程度上,为实现相对高处理量,同时将相对高量前体递送至反应室以在相对高的总压力或分压力下沉积,前体进入反应室中的流量应显著高于用于在平面衬底和/或具有低(例如,<1)纵横比结构的衬底上形成薄膜的工艺条件中使用的那些流量。高流量进而可通过在引入到反应室之前增加前体的温度或压力中的一个或两个来实现。例如,对于在制造条件下呈液体形式的前体,可将前体瓶加热至高于室温的温度,例如,30-60°C、60-80°C、80-100°C、100-120°C、120-150°C,或在由这些值中的任一个界定的范围内的温度,以增加蒸气产生率。这些范围的下限和上限瓶温度可分别部分基于前体的蒸气压力和前体的分解温度确定。通过实例,可将TiCl₄加热至约60-80°C。另一方面,对于在制造条件下呈气体形式的前体,高流量可通过增加气体管线压力以将递送压力增加至相对于在相对低表面积或平面衬底和/或具有低(例如,<1)纵横比结构的衬底上形成薄膜中所使用的气体管线压力高得多的值来实现。将了解实现本文描述的各种优点的相对高流量可取决于,尤其,泵抽速率、暴露时间和反应器的体积。为实现适合在具有高表面积和/或高纵横比结构的衬底上沉积薄膜的流量,可调整前体的温度和/或压力等参数,使得Ti、N、Si和Al前体中的每一种的流量可以是,例如,100-1000标准立方厘米/分钟(sccm)、1000-2000sccm、2000-5000sccm、5000-10,000sccm、10,000-15,000sccm、15,000-20,000sccm,或在由这些值中的任一个界定的范围内的值或更高。将了解合适流量可取决于,尤其,反应器的体积,且这些流量中的一些可适用于具有的体积约1-2升的单晶片反应器。

[0078] 在图5A的所说明的ALD循环中,用于递送给定前体或吹扫气体的两个或更多个ALD阀中的每一个在每一个子循环中的同一子循环期间致动。因此,所说明的暴露循环500A-500D中的每一个各自在每一个循环中使用各自ALD阀中的相同阀重复多个循环。因此,图5A中所说明的暴露循环500A-500D的总和表示一个全ALD循环,且同一循环可重复任何数目次。如上文所讨论的,这样的实施方式提供了增加的流量、增加的压力以及快速循环时间的优点。然而,实施方式不限于此。在其他实施方式中,用于给定前体暴露的不同子循环可通过使用两个或更多个ALD阀中的不同阀,例如在不同循环中将给定前体引入到薄膜沉积室中来执行。例如,两个或更多个前体ALD阀中的第一阀可用于在第一循环中引入前体之一,而两个或更多个前体ALD阀中的第二阀可用于在第二循环中引入前体中的同一前体。因此,通过实例,在图2中所示出了四个前体ALD阀被配置成递送 NH_3 的前体子递送系统中,可使用第一ALD阀和第二ALD阀执行第一循环以递送 NH_3 ,而可使用第三ALD阀和第四ALD阀执行第二循环以递送 NH_3 。有利地,通过交替ALD阀中的不同阀以递送前体,ALD阀的磨损速率可降低,从而增加阀更换或使用之间的时间段,这进而减少了沉积系统的停机时间。一种这样的示例性实施方式说明于图6中。

[0079] 图6说明了根据一些实施方式的用于沉积薄膜的两个ALD循环的示例性前体递送顺序,包括在两个或更多个循环中使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀的前体的暴露顺序。所说明的沉积薄膜的方法包括使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将前体中的第一前体(前体1)引入到薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将前体中的第一前体供应到薄膜沉积室中。独立地致动两个或更多个第一ALD阀包括在第一循环期间致动两个或更多个第一ALD阀中的第一阀以及在第一循环之后的第二循环期间致动两个或更多个第一ALD阀中的第二阀。在下文中,为简洁起见,省略与图5A中所说明的递送顺序的特征类似的图6中所说明的递送顺序的特征。

[0080] 所说明的ALD循环包括包含暴露循环600A、600C的第一循环以及包含暴露循环600B、600D的第二循环。第一循环和第二循环中的每一个包括用于使衬底暴露于前体中的第一前体(前体1)的第一子循环,以及用于使衬底暴露于前体中的第二前体(前体2)的第二子循环。所说明的实例示出了,在第一循环的第一子循环期间,使用两个第一前体ALD阀140-1、140-2中的一个从两个第一前体源120-1、120-2(图1)中的一个引入前体1,且在第二循环的第一子循环期间,使用两个第一前体ALD阀140-1、140-2中的另一个从两个第一前体源120-1、120-2(图1)中的另一个引入前体1。致动前体1的两个或更多个前体ALD阀由暴露循环600A和600C表示,暴露循环分别表示在两个分开的循环中气体流经第一前体ALD阀140-1和140-2。暴露循环600A和600C包括通过分别使用两个第一前体ALD阀140-1和140-2将前体1引入到沉积室中而使衬底分别暴露于第一前体(前体1)脉冲604-1和604-2。在前体1脉冲604-1和604-2之后,使用第一吹扫气体ALD阀148-1将RP气体引入到沉积室中而使衬底暴露于第一快速吹扫(RP)脉冲608-1和608-2。不同于上文关于图5A所描述的顺序,致动两个第一前体ALD阀140-1、140-2不包括同时或重叠地打开两个第一ALD阀140-1、140-2。而是,致动两个第一ALD阀140-1、140-2是在两个分开的ALD循环中进行。类似地,第一RP脉冲608-1和608-2不重叠,因为它们是在两个分开的ALD循环中执行。

[0081] 另外或替代地,如所说明的实例进一步示出,在第一循环的第二子循环期间,使用

两个第二前体ALD阀144-1、143-2中的一个从两个第二前体源124-1、124-2(图1)中的一个引入前体2,且在第二循环的第二子循环期间,使用两个第二前体ALD阀144-1、144-2中的另一个从两个第二前体源124-1、124-2(图1)中的另一个引入前体2。致动前体2的两个或更多个前体ALD阀由暴露循环600B和600D表示,暴露循环分别表示在两个分开的循环中气体流经第二前体ALD阀144-1和144-2。暴露循环600B和600D包括通过分别使用两个第二前体ALD阀144-1和144-2将前体2引入到沉积室中而使衬底分别暴露于前体2的第一前体(前体1)脉冲604-1和604-2。在前体2脉冲616-1和616-2之后,通过使用第二ALD吹扫阀148-2将RP气体引入到沉积室中而使衬底暴露于RP气体的第二快速吹扫(RP)脉冲620-1和620-2。不同于上文关于图5A所描述的顺序,致动两个第二前体ALD阀144-1、144-2不包括同时或重叠地打开两个第二ALD阀144-1、144-2。而是,致动两个第二ALD阀144-1、144-2是在两个分开的ALD循环中进行。类似地,第二RP脉冲620-1和620-2不重叠,因为它们是在两个分开的ALD循环中执行。

[0082] 将了解,在半导体制造环境中,由于零件的维护或更换,定期及不定期停机时间及生产中断可以是代价大的。因为用于沉积单一膜的ALD阀可进行超过数百或甚至数千次致动,所以由于ALD阀的磨损及故障的定期及不定期停机时间可以是代价大的。本发明人已发现,使用如上文所描述的两个或更多个ALD阀140-1、140-2、144-1、144-2、148-1、148-2中的不同阀在不同循环中暴露于给定前体(例如,前体1、前体2)的顺序诸如图6中所示出了的顺序可有利地增加ALD阀的维护或更换的时间间隔。通过使用这样的方法,可基本上减少沉积系统的维修或预防性维护的频率。

[0083] 在图5A和图6的所说明的ALD循环中,使用两个或更多个ALD阀在ALD循环的给定子循环中以连续脉冲递送给定前体或吹扫气体。然而,实施方式不限于此。在其他实施方式中,两个或更多个ALD阀可用于在给定子循环中以多个脉冲递送给定前体。在这些实施方式中,暴露顺序可类似于关于图5A所描述的暴露顺序,除了可以多个背对背脉冲(back-to-back pulses)(没有对不同前体的介入暴露)使衬底暴露于给定前体,这可在存在连续吹扫下进行。例如,使用类似于图2中所示出了的四个ALD阀被配置成递送 NH_3 的前体递送系统,可使用第一ALD阀和第二ALD阀递送 NH_3 的第一脉冲,而可使用第三ALD阀和第四ALD阀递送 NH_3 的第二脉冲。第一脉冲与第二脉冲可在同一子循环期间交替至少一次。一种这样的示例性实施方式说明于图7中。

[0084] 图7说明了根据一些实施方式的用于沉积薄膜的ALD循环的示例性前体递送顺序,包括在一个循环中使用并联连接至共有气体分布板的两个或更多个ALD阀来递送前体的多个脉冲的前体的暴露顺序。所说明的沉积薄膜的方法包括使衬底在薄膜沉积室中交替地暴露于多种前体。使衬底交替地暴露包括通过独立地致动两个或更多个第一原子层沉积(ALD)阀而将前体中的第一前体(前体1)引入到薄膜沉积室中,所述第一原子层沉积(ALD)阀并联连接至共有气体分布板以将前体中的第一前体供应到薄膜沉积室中。独立地致动所述两个或更多个第一ALD阀包括在所述循环中的同一循环期间通过交替地打开所述两个或更多个第一ALD阀中的不同阀而以多个脉冲使所述衬底暴露。在下文中,为简洁起见,省略与图5A中所说明的递送顺序的特征类似的图7中所说明的递送顺序的特征。

[0085] 与上文关于图5A所描述的方式类似的方式,所说明的ALD循环包括包含用于使衬底暴露于前体中的第一前体(前体1)的暴露循环700A和700C的第一子循环,以及包含用

于使衬底暴露于前体中的第二前体(前体2)的暴露循环700B和700D的第二子循环。然而,不同于关于图5A所描述的顺序,所说明的实例示出了在第一子循环期间使用两个第一前体ALD阀140-1、140-2(图1)以多个脉冲704-1、704-2从两个第一前体源120-1、120-2(图1)引入前体1。致动前体1的两个或更多个ALD阀由暴露循环700A和700B表示,暴露循环分别表示气体流经第一前体ALD阀140-1和140-2。暴露循环700A和700B包括通过分别使用两个第一前体ALD阀140-1和140-2将前体1引入到沉积室中而使衬底分别暴露于以多个前体1脉冲704-1和多个前体1脉冲704-2的第一前体(前体1)。脉冲704-1和脉冲704-2可如所说明的交替。在多个前体1脉冲704-1和前体1脉冲704-2之后,以与上文关于图5A所描述的顺序类似的方式使衬底暴露于第一快速吹扫(RP)脉冲708-1和708-2。如所说明的,致动两个第一前体ALD阀140-1、140-2包括交替地打开两个第一前体ALD阀140-1、140-2以交替地递送脉冲704-1和704-2。因此,前体1脉冲704-1和前体2脉冲704-2不重叠,如所说明的。

[0086] 另外或替代地,如所说明的实例示出了,第二子循环包括暴露循环700C和700D,以使用可以与上文所描述的类似方式配置的两个第二前体ALD阀144-1、144-2从两个第二前体源124-1、124-2(图1)引入前体2。致动前体2的两个或更多个前体ALD阀由暴露循环700C和700D表示,暴露循环分别表示气体流经第二ALD阀144-1和144-2。暴露循环700C和700D包括通过分别使用两个第二前体ALD阀144-1和144-2将前体2引入到沉积室中而使衬底分别暴露于以多个前体2脉冲716-1和多个前体2脉冲716-2的第二前体(前体2)。脉冲716-1和脉冲716-2可以交替。在前体2脉冲716-1和前体脉冲716-2之后,以与上文关于图5A所描述的顺序类似的方式使衬底暴露于RP气体的第二快速吹扫(RP)脉冲720-1和720-2。如所说明的,致动两个第二前体ALD阀144-1、144-2包括交替地打开两个第一前体ALD阀144-1、144-2以交替地递送脉冲716-1和716-2。因此,前体2脉冲716-1和前体2脉冲716-2不重叠,如所说明的。

[0087] 有利地,通过交替ALD阀中的不同阀以递送前体的不同脉冲,可例如通过在接收另一阀上的传感器信号之前发送可以发送一个阀的命令信号来减少开销时间的量。在所说明的实施方式中,前体1脉冲704-1和704-2交替而不彼此重叠,且前体2脉冲716-1和716-2交替而不彼此重叠。然而,在一些实施方式中,为了辨识在命令信号与如上文关于图3D所描述的ALD阀的实际打开或关闭之间的延迟,可在接收指示前体ALD阀中的先前阀关闭的电子位置传感器信号之前发送用于打开前体ALD阀中的一个的命令信号。

[0088] 根据实施方式,前体1脉冲704-1和704-2可具有为上文关于图5A所描述的前体1脉冲504-1、504-2的暴露时间的一部分的持续时间。例如,相对于上文关于图5A所描述的暴露时间,脉冲持续时间可为20%、40%、60%、80%或在由这些值中的任一个界定的范围内的值。类似地,前体2脉冲716-1和716-2可具有为上文关于图5A所描述的前体1脉冲516-1、516-2的暴露时间的一部分的持续时间。例如,相对于上文关于图5A所描述的暴露时间,脉冲持续时间可为20%、40%、60%、80%或在由这些值中的任一个界定的范围内的值。不受任何理论束缚,这样的多脉冲引入可通过减少在前体分子与副产物分子之间的竞争来改进表面饱和。对于可比的总暴露时间,多脉冲暴露可产生有效较高剂量和/或改进的保形性。

[0089] 应用

[0090] 根据本文中所公开的各种实施方式的使用不同暴露压力形成的包括TiN或TiSiN的薄膜可用于各种应用中,尤其在衬底包括可受益于如本文中所公开的TiN或TiSiN层的各

种有利特性的相对高纵横比结构和/或非金属表面的情况下。示例性应用包括沉积具有超过1、2、5、10、20、50、100、200或在通过这些值中的任一个界定的范围内的值的纵横比(例如,定义为深度除以顶部宽度的比率)的通孔、孔、沟槽、腔或类似结构。

[0091] 通过实例,图8示意性地说明在用于接触结构(例如,源极或漏极触点)的形成于可经重度掺杂的有源半导体衬底区域上的扩散阻挡物(diffusion barrier)的上下文中的应用。说明半导体装置500的部分,其包括衬底504,包括电介质材料(诸如氧化物或氮化物)的电介质层508(例如,层间或金属间电介质(ILD)层)形成于该衬底上。为形成到衬底504的各种区域(包括各种经掺杂区域,例如,源极及漏极区域)的触点,可形成穿过电介质层508的通孔或沟槽。通孔或沟槽可暴露各种非金属表面,例如,通孔的包括衬底表面(例如,硅衬底表面)的经暴露底表面,以及电介质侧壁。通孔的底表面和侧表面可保形涂覆有TiN或TiSiN层。此后,可用金属(例如,W、Al或Cu)填充经加衬里通孔以形成接触插塞516。例如,可通过CVD使用(例如)WF₆用钨填充通孔。

[0092] 出于各种原因,根据实施方式形成的阻挡层(barrier layer)512可为有利的。特别地,由于通过ALD形成的阻挡层512的保形性质,可基本上减小在后续金属填充过程期间的夹断(pinching off)的倾向。另外,如上文所描述,阻挡层512可提供跨其有效材料输送阻碍,例如,掺杂物(B、P)从衬底504向外扩散,以及来自接触插塞形成过程的反应物、蚀刻剂及金属(例如,F、Cl、W或Cu)向内扩散。可通过降低的表面粗糙度及增加的阶梯覆盖率来增强阻挡效应。此外,根据实施方式获得的逐层生长模式可减小阻挡层512的总体接触电阻。此外,由于降低的膜粗糙度,可形成相对较薄阻挡层512,同时仍完成其所要阻挡功能,从而导致接触电阻进一步降低。

[0093] 根据本文中公开的各种实施方式形成的TiN或TiSiN层的其他应用包括(仅举几例)形成于凹入衬底中的导电结构(例如,埋藏式电极或线)、电极(例如,DRAM电容器电极或栅极电极)、用于较高金属层级的金属化阻挡物(例如,用于Cu触点/线的通孔/沟槽中的阻挡物)、高纵横比垂直棒状电极或用于三维存储器的通孔及硅穿孔(TSV)。

[0094] 尽管本文中已参考特定实施方式描述本发明,但这些实施方式并不用于限制本发明且是出于说明性目的而陈述。所属领域的技术人员将明白,可在不脱离本发明的精神及范围的情况下进行修改及改进。

[0095] 本文中所公开的各种实施方式的此类简单修改及改进是在所公开技术的范围内,且此外,所公开技术的特定范围将通过随附权利要求限定。

[0096] 在前文中,将了解,实施方式中的任一种的任何特征可与实施方式的任何其他实施方式的任何其他特征组合或用实施方式的任何其他实施方式的任何其他特征置换。

[0097] 除非上下文另有清楚要求,否则贯穿说明书及权利要求,词语“包括(comprise)”、“包括(comprising)”、“包括(include)”、“包括(including)”等应解释为包括意义,与排他性或详尽性意义相反;即,解释为“包括但不限于”的意义。如本文中通常所使用,词语“联接”是指可直接连接或通过一或多个中间元件连接的两个或更多个元件。同样地,如本文中通常所使用,词语“连接”是指可直接连接或通过一或多个中间元件连接的两个或更多个元件。此外,词语“在本文中”、“在上文”、“在下文”及类似含义的词语在本申请中使用时应是指本申请整体而非指本申请的任何特定部分。在上下文允许的情况下,上文具体实施方式中的使用单数或复数的词语还可分别包括复数或单数。关于两个或更多个项的列表的词语

“或”，该词语涵盖所有以下词语解释：所述列表中的项中的任一个、所述列表中的所有项及所述列表中的项的任何组合。

[0098] 此外，除非另有明确陈述或在如所使用的上下文内以其他方式理解，否则本文中使用的条件语言（尤其诸如“可以（can）”、“可以（could）”、“可能（might）”、“可（may）”、“例如（e.g.）”、“例如（for example）”、“诸如（such as）”等）通常旨在传达某些实施方式包括而其他实施方式不包括特定特征、元件和/或状态。因此，此条件语言通常不旨在暗示一或多种实施方式在任何情况下需要特征、元件和/或状态，或这些特征、元件和/或状态是否包括于任何特定实施方式中或在任何特定实施方式中执行。

[0099] 虽然已描述某些实施方式，但这些实施方式仅通过实例呈现，且并不旨在限制本公开的范围。实际上，本文中所描述的新颖设备、方法及系统可以多种其他形式体现；此外，可在不脱离本公开的精神的情况下在本文中所描述的方法及系统的形式上作出各种省略、置换及改变。例如，虽然以给定布置呈现特征，但替代实施方式可用不同部件和/或传感器拓扑执行类似功能性，且可删除、移动、添加、细分、组合和/或修改一些特征。这些特征中的每一个可以多种不同方式实施。可组合上文所描述的各种实施方式的元件及动作的任何合适组合以提供另外实施方式。上文所描述的各种特征及过程可彼此独立地实施，或可以各种方式组合。本公开的特征的所有可能组合及子组合旨在落在本公开的范围內。

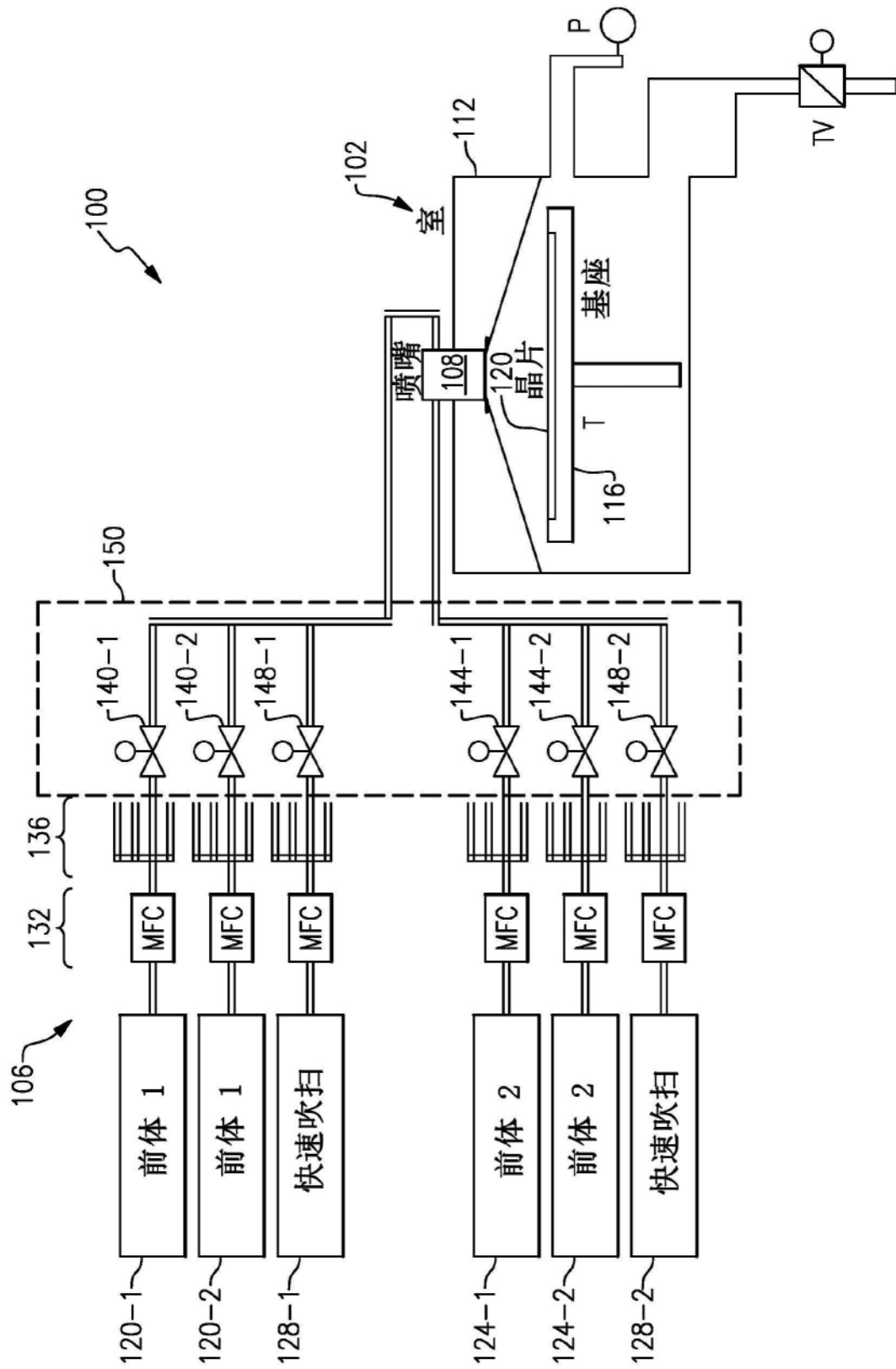


图1

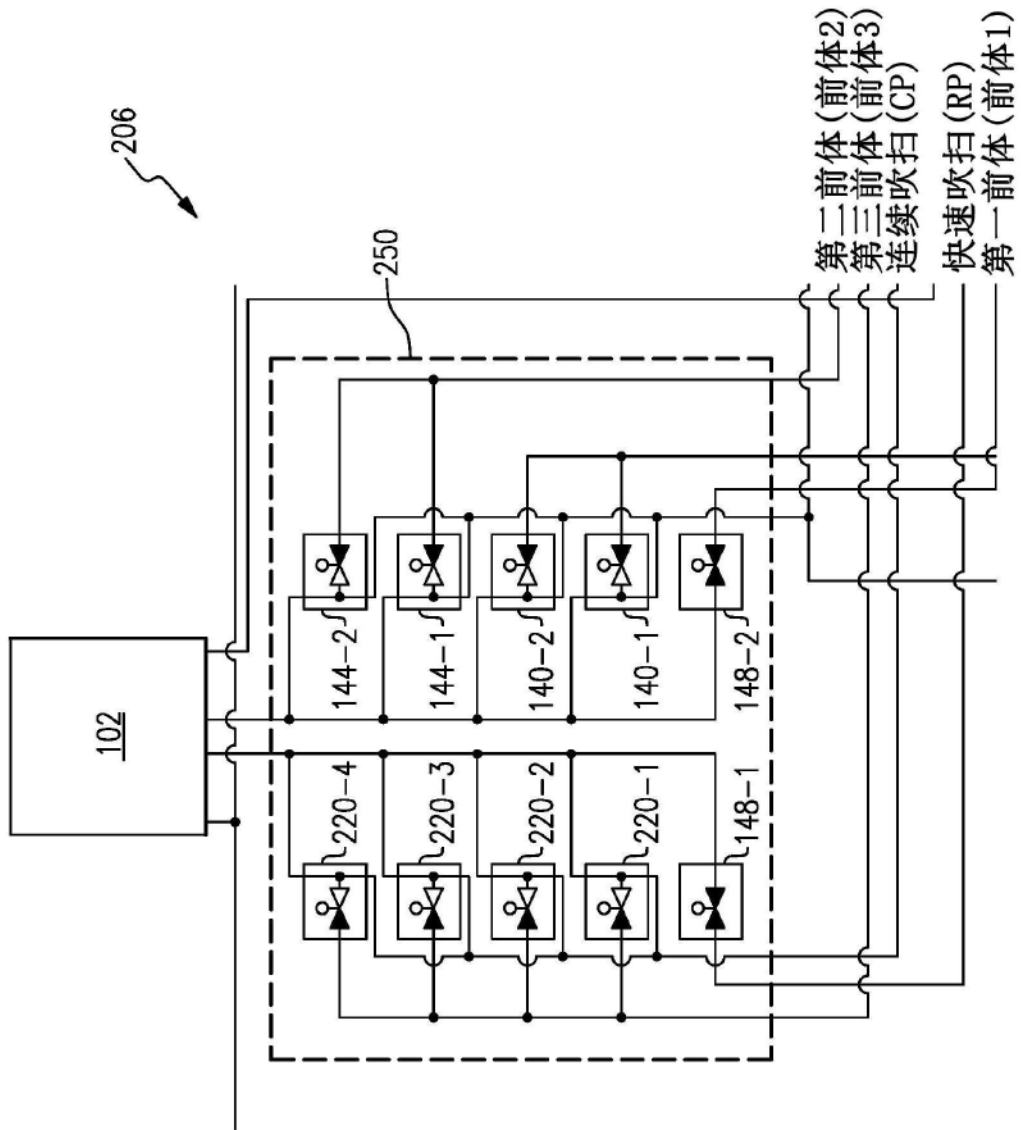


图2

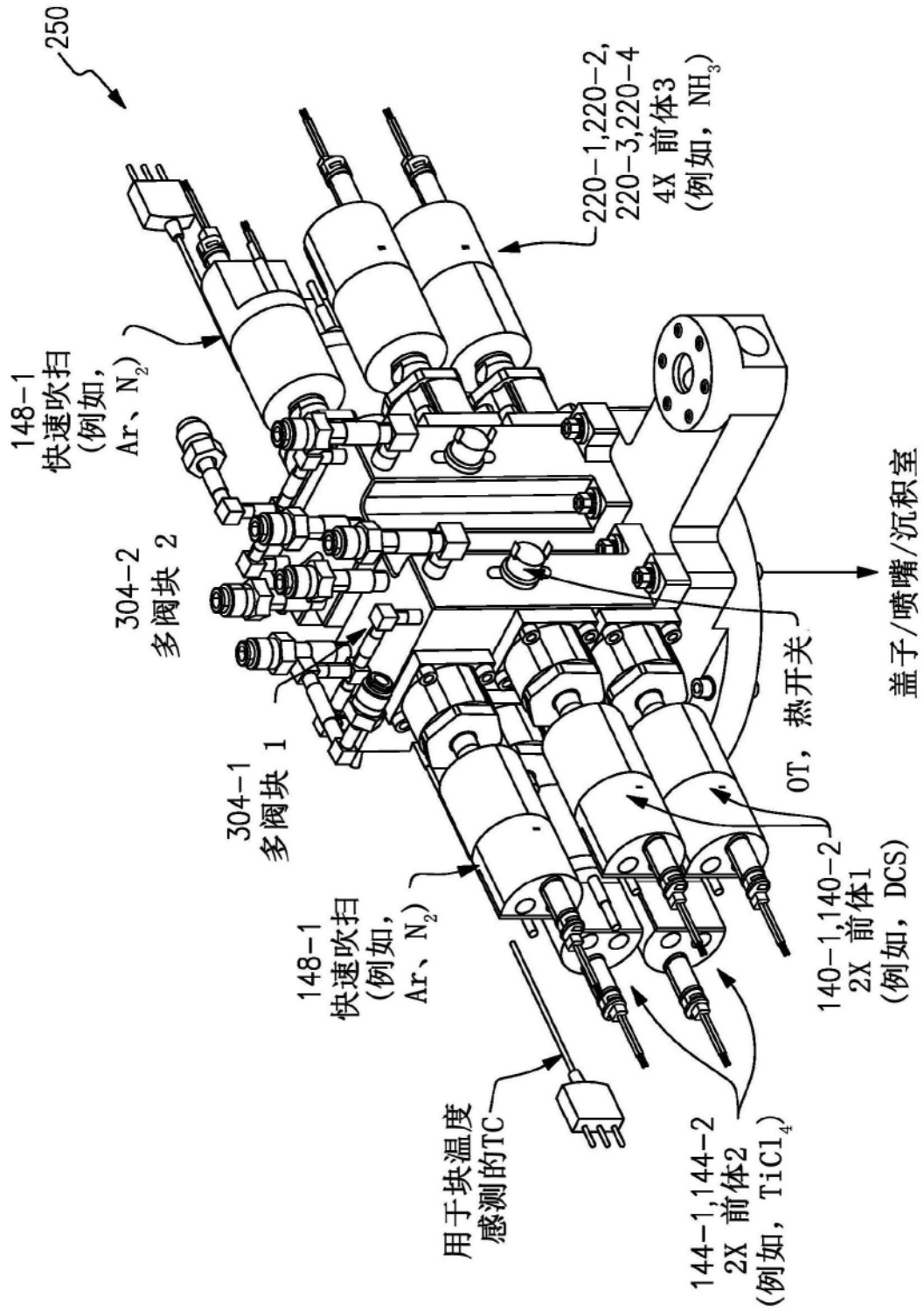


图3A

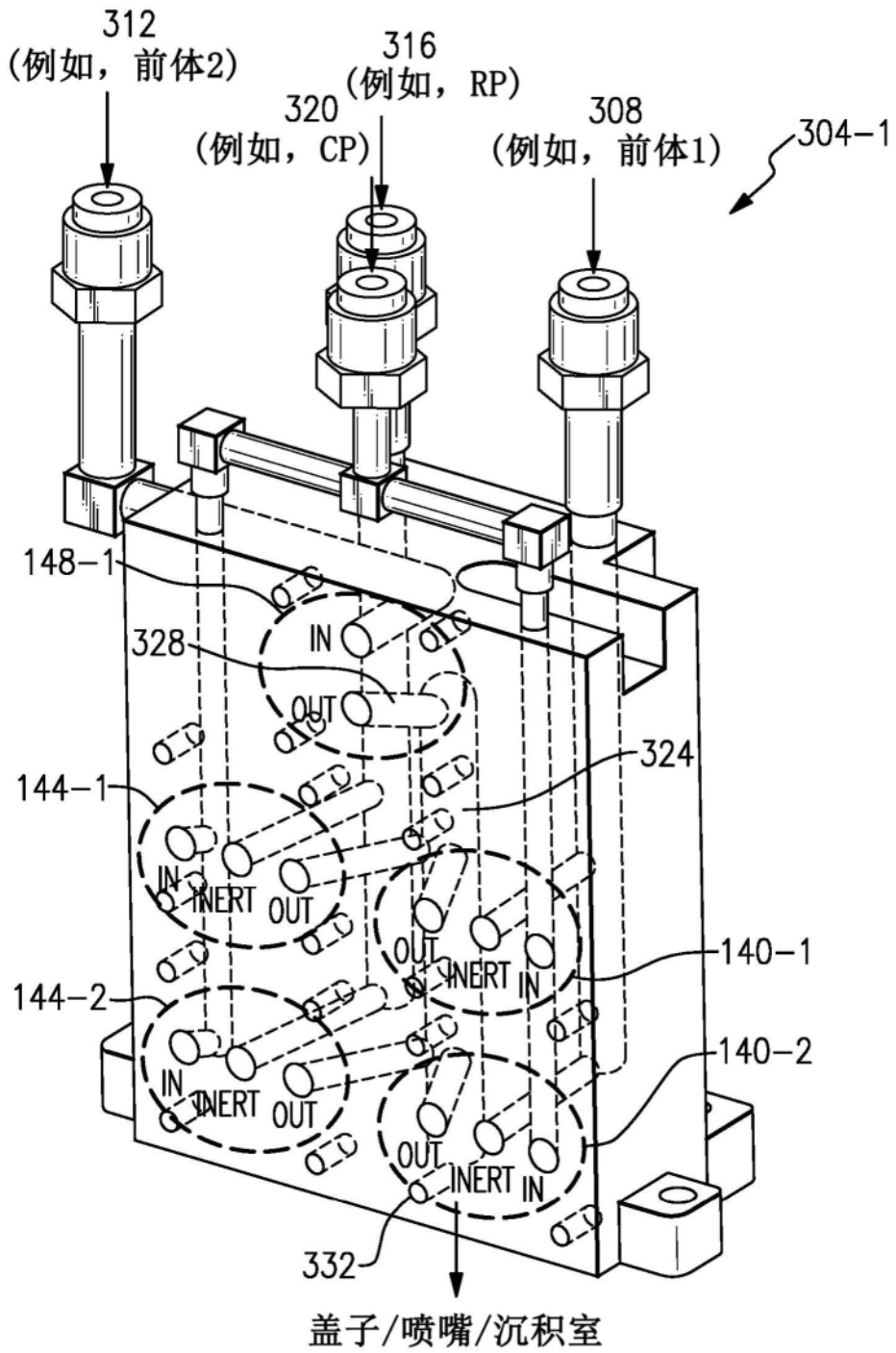


图3B

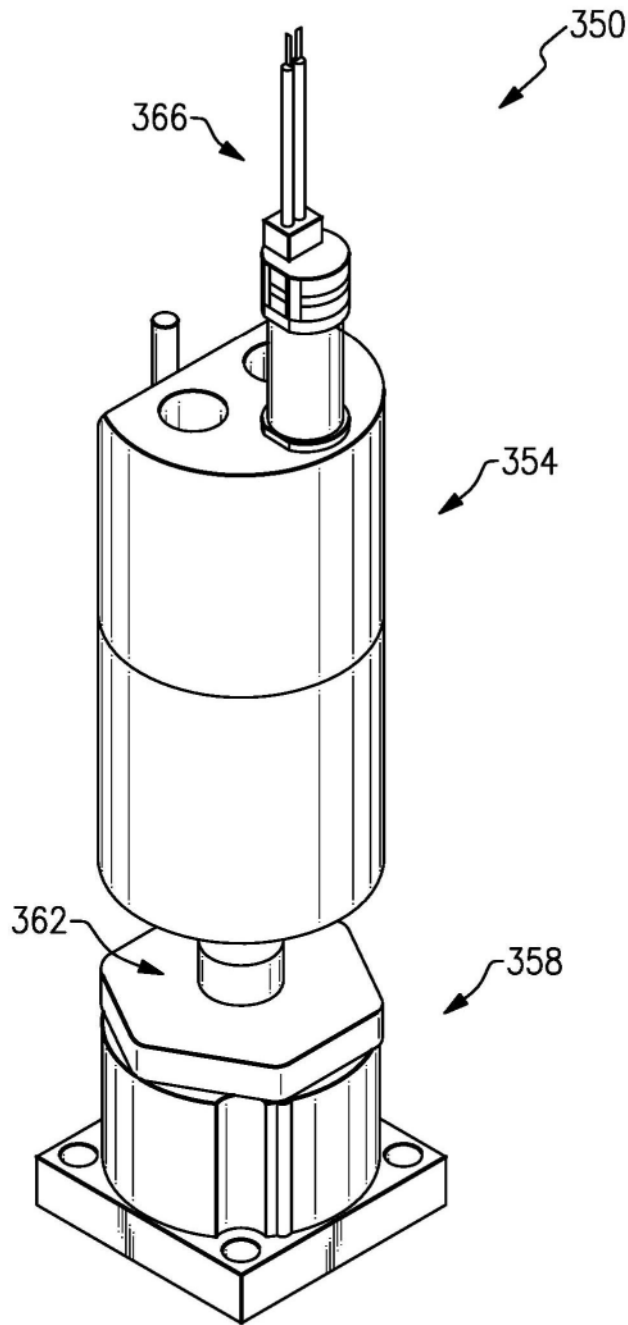


图3C

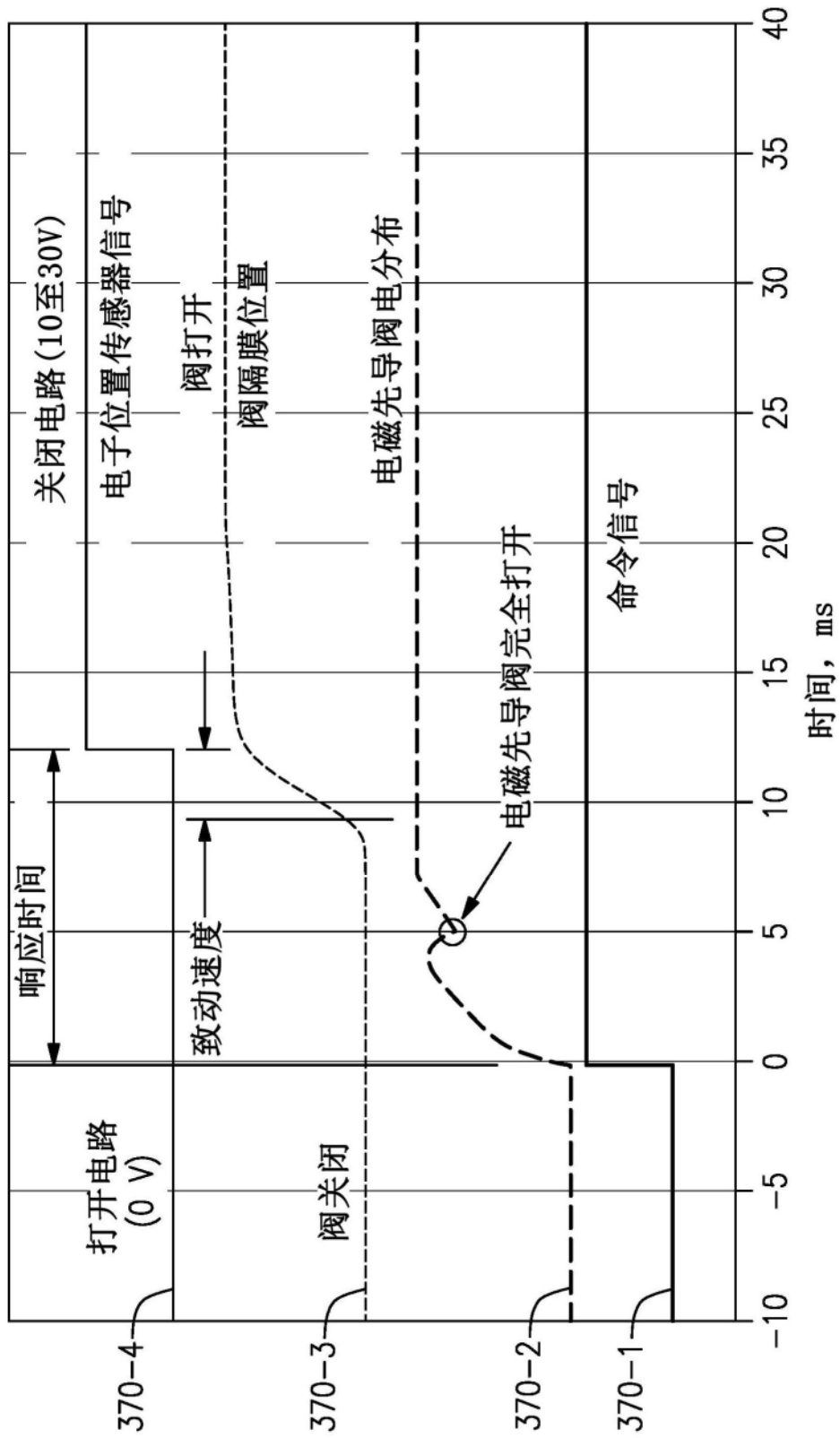


图3D

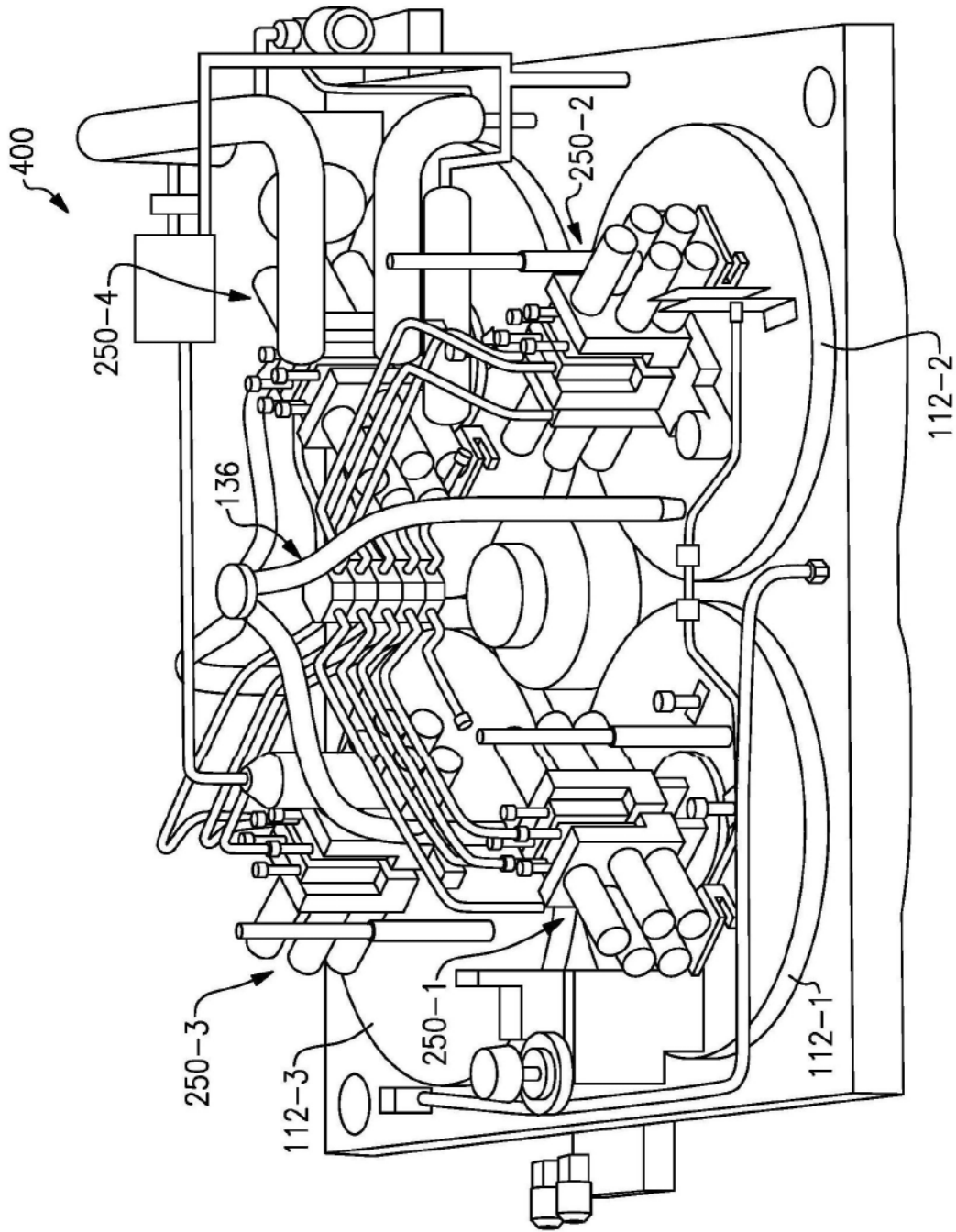


图4

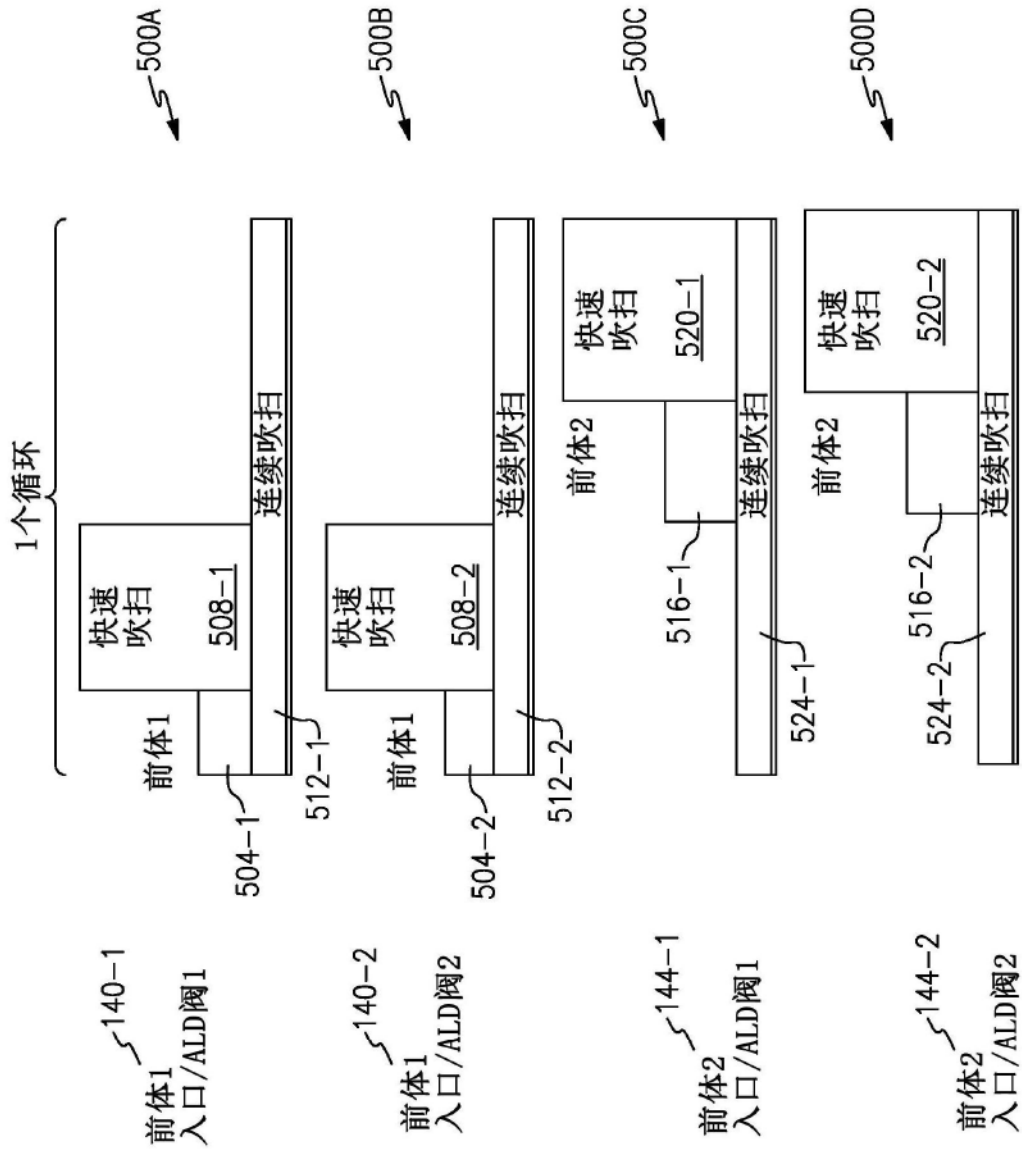


图5A

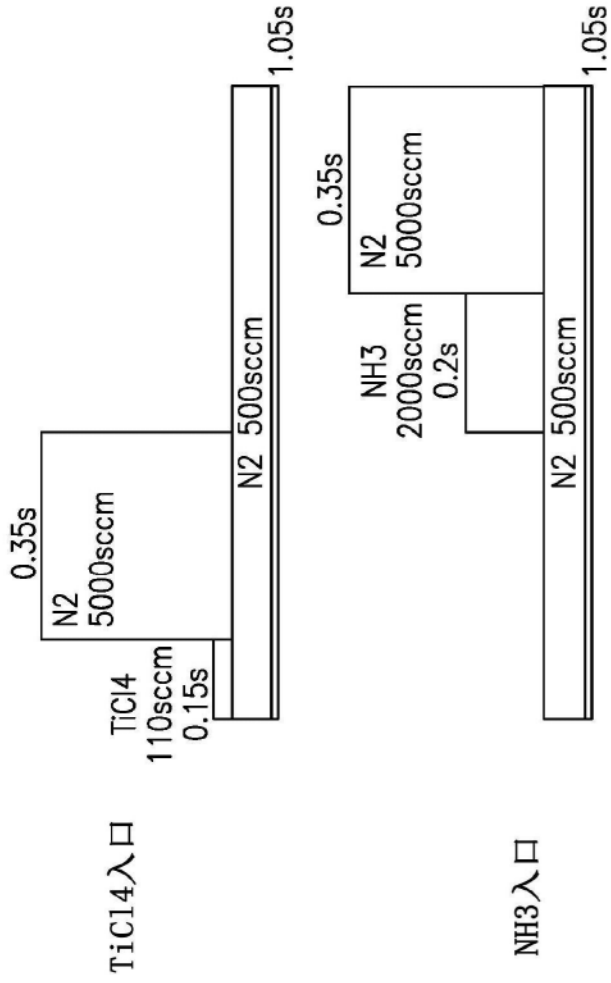


图5B

典型条件	
温度	550°C
压力	5 托
间隙	0.6"
淋喷头温度	130° C
TiCl4流量/1x STN	110sccm
RP流量 (TiCl4侧)/1x STN	5000sccm
NH3流量/1x STN	2000sccm
CP流量 (NH3侧)/1x STN	500sccm
循环时间	0.15s/0.35s/0.2s/0.35s
TMF吹扫	1000sccm N2
室吹扫	5000sccm N2

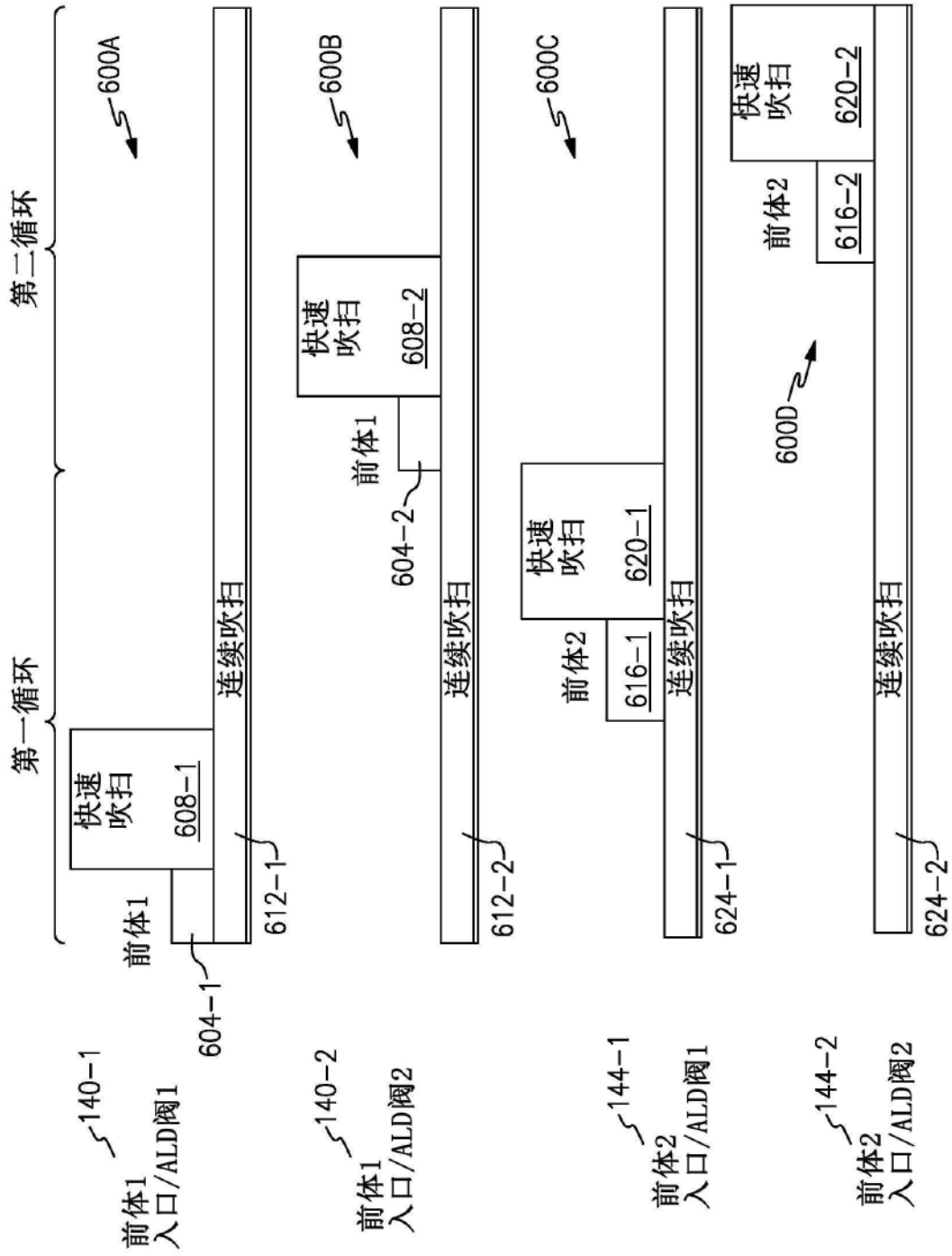


图6

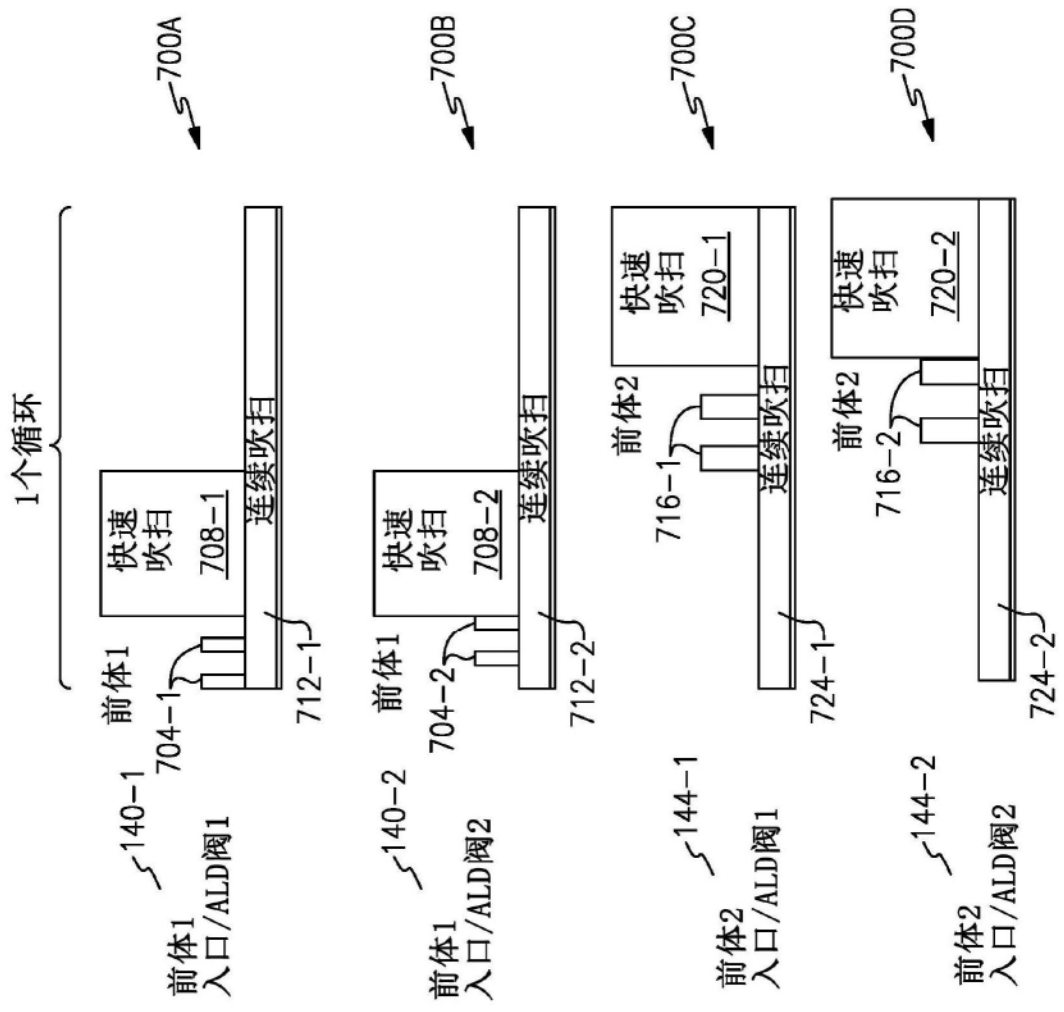


图7

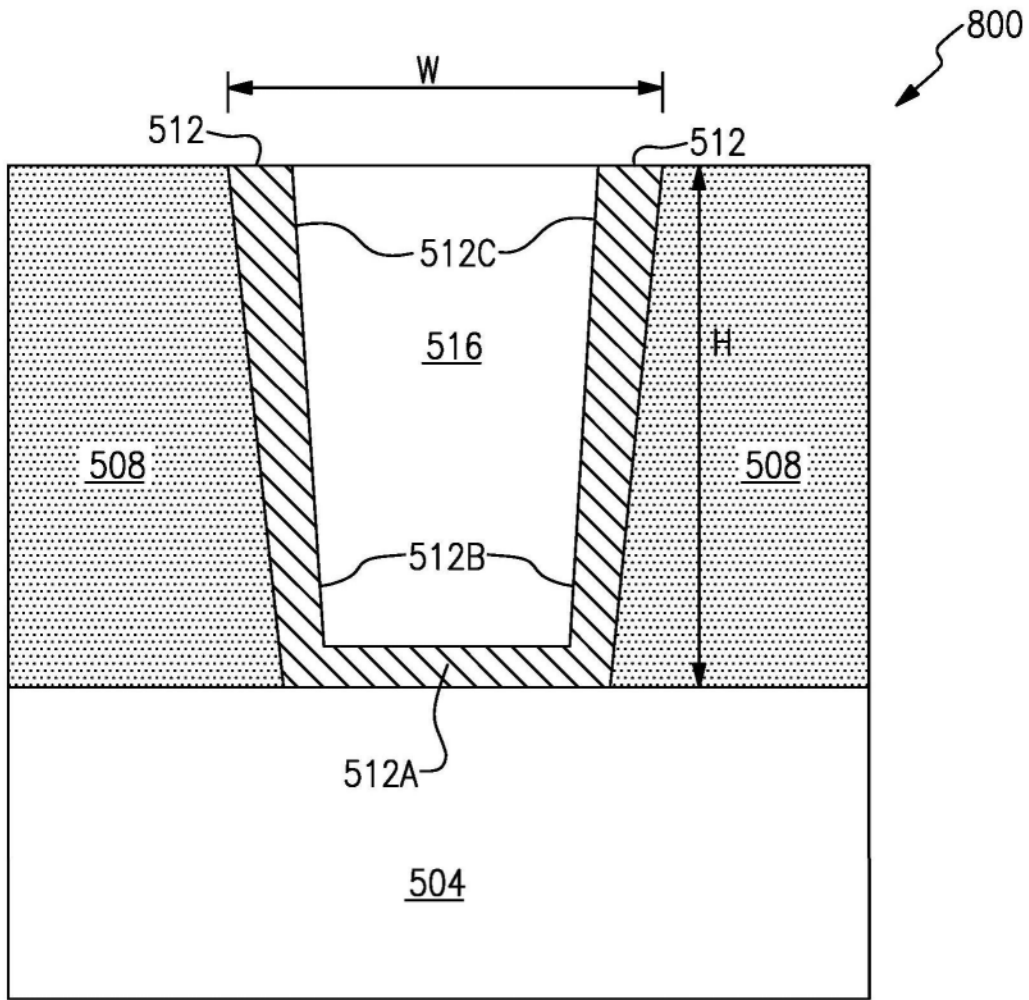


图8