



(21) 申请号 201780018308.0

(22) 申请日 2017.01.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108883390 A

(43) 申请公布日 2018.11.23

(30) 优先权数据
62/280,637 2016.01.19 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.09.18

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/CA2017/050060 2017.01.19

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/124190 EN 2017.07.27

(73) 专利权人 英属哥伦比亚大学
地址 加拿大英属哥伦比亚省

(72) 发明人 F·塔吉波尔

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

专利代理师 吴鹏 马江立

(51) Int.Cl.
B01J 19/12 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2015114912 A1, 2015.04.30
CN 1422176 A, 2003.06.04
EP 0839497 A1, 1998.05.06
CN 101794157 A, 2010.08.04

审查员 朱晨

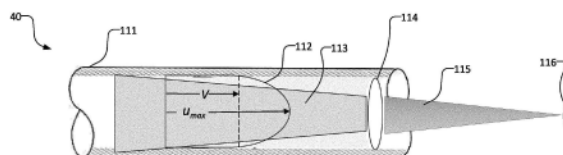
权利要求书7页 说明书26页 附图23页

(54) 发明名称

用于控制UV-LED光反应器中的流体辐射剂量的方法和设备

(57) 摘要

本发明涉及一种反应器,其利用紫外线发光二极管(UV-LED)操作以在用于包括水净化的各种应用的流体流中实现UV光反应或UV光引发反应。UV-LED反应器包括用于供流体流通过的管道装置、紫外线发光二极管(UV-LED)和辐射聚焦元件,该辐射聚焦元件用于将UV-LED辐射与在管道的横截面中的流体速度成比例地沿管道的纵向方向聚焦至流体。



1. 一种用于使用紫外线辐射照射流体流的UV反应器,所述反应器包括:

流体管道,其包括流体入口和流体出口以及位于所述入口与所述出口之间的纵向延伸的流体流动通道,所述流体流动通道沿纵向方向延伸,以允许流体流沿纵向方向流过其中;

固态UV发射器;和

辐射聚焦元件,其包括一个或多个透镜,所述一个或多个透镜定位在从所述固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中,以将来自所述固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中;

其中,所述一个或多个透镜通过所述一个或多个透镜的形状、所述一个或多个透镜的位置和所述一个或多个透镜的折射率中的一者或多者而被配置为使得当所述固态UV发射器发射辐射时,并且当流体流沿纵向方向流过所述流体流动通道时,在所述流体流动通道的内孔的横截面的一部分上的、从所述固态UV发射器发射并被所述一个或多个透镜折射到所述流体流动通道中的辐射的辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的流体流的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关;

其中,所述一个或多个透镜包括会聚透镜;并且

其中,所述会聚透镜相对于固态UV发射器不定位在其焦距距离内。

2. 根据权利要求1所述的UV反应器,其中,所述横截面的所述一部分包含所述流体流动通道的内孔的总横截面的表面积的70%以上。

3. 根据权利要求1所述的UV反应器,其中,所述横截面的所述一部分包含所述流体流动通道的内孔的总横截面的表面积的80%以上。

4. 根据权利要求1所述的UV反应器,其中,所述横截面的所述一部分包含所述流体流动通道的内孔的总横截面的表面积的90%以上。

5. 根据权利要求1所述的UV反应器,其中,所述横截面的所述一部分大于所述内孔的总横截面积的50%。

6. 根据权利要求1所述的UV反应器,其中,所述横截面的所述一部分大于所述内孔的总横截面积的75%。

7. 根据权利要求1所述的UV反应器,其中,所述横截面的所述一部分大于所述内孔的总横截面积的85%。

8. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器,其中,在相对靠近所述流体流动通道的内孔的横截面中心的横截面位置处的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值比在相对远离所述流体流动通道的内孔的横截面中心的横截面位置处的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值大。

9. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器,其中,所述一个或多个透镜通过所述一个或多个透镜的位置而被配置为使得当所述固态UV发射器发射辐射时,并且当流体流沿纵向方向流过所述流体流动通道时,纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值与所述辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

10. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器,其中,沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的正相关包括沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平

均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值大致成比例。

11. 根据权利要求10所述的UV反应器, 其中, 沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的大致成比例包括在所述横截面的所述一部分上变化小于25%的比例常数。

12. 根据权利要求10所述的UV反应器, 其中, 沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的大致成比例包括在所述横截面的所述一部分上变化小于15%的比例常数。

13. 根据权利要求10所述的UV反应器, 其中, 沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的大致成比例包括在所述横截面的所述一部分上变化小于5%的比例常数。

14. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述固态UV发射器包括至少一个UV发光二极管。

15. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述固态UV发射器包括至少一个介电薄膜。

16. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述辐射聚焦元件包括多个透镜并且所述反应器包括多个固态UV发射器, 其中所述多个透镜包括与所述多个固态UV发射器中的每一者相对应并且定位成将由所述多个固态UV发射器中的相应一者发射的辐射引导到所述流体流动通道中的透镜。

17. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述反应器包括多个固态UV发射器并且所述一个或多个透镜包括至少一个共享透镜, 所述至少一个共享透镜相对于所述多个固态UV发射器被定位成将来自所述多个固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中。

18. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述辐射聚焦元件和所述固态UV发射器包括多个辐射聚焦元件和多个固态UV发射器, 所述多个辐射聚焦元件和所述多个固态UV发射器包括:

第一固态UV发射器;

第二固态UV发射器;

第一辐射聚焦元件, 其包括一个或多个第一透镜, 所述一个或多个第一透镜定位在从所述第一固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中, 以将来自所述第一固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中; 和

第二辐射聚焦元件, 其包括一个或多个第二透镜, 所述一个或多个第二透镜定位在从所述第二固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中, 以将来自所述第二固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中;

其中, 所述第一辐射聚焦元件和所述第一固态UV发射器定位成使得来自所述第一固态UV发射器的辐射的中心轴线大致平行于所述流体流的所述纵向方向定向并且定向在与其相同的方向上; 并且

其中, 所述第二辐射聚焦元件和所述第二固态UV发射器定位成使得来自所述第二固态UV发射器的辐射的中心轴线大致平行于所述流体流的所述纵向方向定向并且定向在与其相反的方向上。

19. 根据权利要求18所述的UV反应器, 其中, 所述第一和第二固态UV发射器具有第一和第二不同波长的辐射。

20. 根据权利要求19所述的UV反应器, 其中:

所述一个或多个第一透镜通过所述一个或多个第一透镜的形状、所述一个或多个第一透镜的位置和所述一个或多个第一透镜的折射率中的一者或多者而被配置为提供沿所述横截面的所述一部分的具有第一波长的第一辐射的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的第一平均值, 所述第一平均值与在所述横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关; 以及

所述一个或多个第二透镜通过所述一个或多个第二透镜的形状、所述一个或多个第二透镜的位置和所述一个或多个第二透镜的折射率中的一者或多者而被配置为提供沿所述横截面的所述一部分的具有第二波长的第二辐射的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的第二平均值, 所述第二平均值与在所述横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

21. 根据权利要求18所述的UV反应器, 其中, 所述一个或多个第一透镜和所述一个或多个第二透镜通过所述一个或多个第一和第二透镜的形状、所述一个或多个第一和第二透镜的位置以及所述一个或多个第一和第二透镜的折射率中的一者或多者而被配置为提供沿所述横截面的所述一部分的来自第一和第二固态UV发射器的辐射的辐射注量率曲线之和在所述纵向尺寸上的平均值, 所述平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

22. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述内孔具有圆形横截面, 并且所述纵向方向流体速度曲线具有椭圆抛物面形状。

23. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述辐射聚焦元件和所述固态UV发射器定位成使得来自所述固态UV发射器的辐射的中心轴线大致平行于所述流体流的纵向方向定向。

24. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述一个或多个透镜通过所述一个或多个透镜的形状、所述一个或多个透镜的位置和所述一个或多个透镜的折射率中的一者或多者而被配置为使得当所述固态UV发射器发射辐射时, 并且当流体流沿纵向方向流过所述流体流动通道时, 纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值与辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

25. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 包括位于所述流体流动通道的内孔中的流量限制元件, 所述流量限制元件成形为控制在所述流体流动通道的内孔中流动的流体的纵向方向速度曲线, 以由此提供沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值之间的正相关。

26. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述会聚透镜相对靠近所述固态UV发射器, 并且所述一个或多个透镜还包括相对更远离所述固态UV发射器的准直透镜, 所述会聚透镜和所述准直透镜位于所述固态UV发射器的中心光轴的光学路径中。

27. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器, 其中, 所述一个或多个透镜与所述固态UV发射器一体地包装。

28. 根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器,其中,所述流体流动通道的内壁包含或涂覆有反射材料,并且当所述固态UV发射器发射辐射时,来自所述内壁的辐射的反射有助于沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值。

29. 一种在UV反应器中用于使用UV辐射照射流体流的方法,所述方法包括:

提供流体管道,所述流体管道包括流体入口和流体出口以及位于所述入口与所述出口之间的纵向延伸的流体流动通道,所述流体流动通道沿纵向方向延伸,以允许流体流沿纵向方向流过其中;

定位辐射聚焦元件,所述辐射聚焦元件包括一个或多个透镜,所述一个或多个透镜位于从固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中,以将来自所述固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中;以及

通过将所述一个或多个透镜成形、定位所述一个或多个透镜和由具有折射率的材料制作所述一个或多个透镜中的一者或多者来将所述一个或多个透镜配置为使得当所述固态UV发射器发射辐射时,并且当流体流沿纵向方向流过所述流体流动通道时,在所述流体流动通道的内孔的横截面的一部分上的、从所述固态UV发射器发射并被所述一个或多个透镜折射到所述流体流动通道中的辐射的辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的流体流的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关;

其中,配置所述一个或多个透镜包括从多种类型的透镜之中选择所述一个或多个透镜,以提供沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的平均值,所述平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关;

其中,选择所述一个或多个透镜包括选择会聚透镜;并且

其中,配置所述一个或多个透镜还包括相对于固态UV发射器将所述会聚透镜定位在其焦距距离之外。

30. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述横截面的所述一部分包含所述流体流动通道的内孔的总横截面的表面积的70%以上。

31. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述横截面的所述一部分包含所述流体流动通道的内孔的总横截面的表面积的80%以上。

32. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述横截面的所述一部分包含所述流体流动通道的内孔的总横截面的表面积的90%以上。

33. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述横截面的所述一部分大于所述内孔的总横截面积的50%。

34. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述横截面的所述一部分大于所述内孔的总横截面积的75%。

35. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述横截面的所述一部分大于所述内孔的总横截面积的85%。

36. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,配置所述一个或多个透镜包括相对于所述固态UV发射器在不同于焦距距离的位置定位所述一个或多个透镜,以提供沿所述

横截面的所述一部分的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的平均值,所述平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

37. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,在相对靠近所述流体流动通道的内孔的横截面中心的横截面位置处的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值比在相对远离所述流体流动通道的内孔的横截面中心的横截面位置处的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值大。

38. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,还包括使流体流流过所述流体流动通道,其中流过所述流体流动通道的流体流具有在所述流体流动通道的内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值,该流体速度曲线的平均值与所述辐射注量率曲线的平均值正相关。

39. 根据权利要求38所述的方法,其中,沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的正相关包括沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值大致成比例。

40. 根据权利要求39所述的方法,其中,沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的大致成比例包括在所述横截面的所述一部分上变化小于25%的比例常数。

41. 根据权利要求39所述的方法,其中,沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的大致成比例包括在所述横截面的所述一部分上变化小于15%的比例常数。

42. 根据权利要求39所述的方法,其中,沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率在所述纵向尺寸上的平均值与纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值之间的大致成比例包括在所述横截面的所述一部分上变化小于5%的比例常数。

43. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,所述固态UV发射器包括至少一个UV发光二极管。

44. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,所述固态UV发射器包括至少一张介电薄膜。

45. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,包括提供多个固态UV发射器,其中所述辐射聚焦元件包括多个透镜,并且其中所述方法包括相对于所述多个固态UV发射器定位所述多个透镜,使得所述多个透镜包括与所述多个固态UV发射器中的每一者相对应并且定位成将由所述多个固态UV发射器中的相应一者发射的辐射引导到所述流体流动通道中的透镜。

46. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,包括:提供多个固态UV发射器;以及将所述一个或多个透镜定位成使得来自所述一个或多个透镜当中的至少一个共享透镜相对于所述多个固态UV发射器被定位成将来自所述多个固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中。

47. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,包括将流量限制元件定位在所述流体流动通道的内孔中,所述流量限制元件成形为控制在所述流体流动通道的内孔中流动的流体

的纵向方向速度曲线,以由此提供沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值之间的正相关。

48. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,包括将所述辐射聚焦元件和所述固态UV发射器定位成使得来自所述固态UV发射器的辐射的中心轴线大致平行于所述流体流的纵向方向定向。

49. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,所述辐射聚焦元件和所述固态UV发射器包括多个辐射聚焦元件和多个固态UV发射器,所述多个辐射聚焦元件和所述多个固态UV发射器包括:

第一固态UV发射器;

第二固态UV发射器;

第一辐射聚焦元件,其包括一个或多个第一透镜;和

第二辐射聚焦元件,其包括一个或多个第二透镜;

其中,所述方法还包括:

将所述一个或多个第一透镜定位在从所述第一固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中,以将来自所述第一固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中;

将所述一个或多个第二透镜定位在从所述第二固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中,以将来自所述第二固态UV发射器的辐射引导到所述流体流动通道中;

将所述第一辐射聚焦元件和所述第一固态UV发射器定位成使得来自所述第一固态UV发射器的辐射的中心轴线大致平行于所述流体流的所述纵向方向定向并且定向在与其相同的方向上;并且

将所述第二辐射聚焦元件和所述第二固态UV发射器定位成使得来自所述第二固态UV发射器的辐射的中心轴线大致平行于所述流体流的所述纵向方向定向并且定向在与其相反的方向上。

50. 根据权利要求49所述的方法,其中,所述第一和第二固态UV发射器具有第一和第二不同波长的辐射。

51. 根据权利要求50所述的方法,包括

通过将所述一个或多个第一透镜成形、定位所述一个或多个第一透镜和由具有折射率的材料制作所述一个或多个第一透镜中的一者或多者来将所述一个或多个第一透镜配置为提供沿所述横截面的所述一部分的具有第一波长的第一辐射的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的第一平均值,所述第一平均值与在所述横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关;以及

通过将所述一个或多个第二透镜成形、定位所述一个或多个第二透镜和由具有折射率的材料制作所述一个或多个第二透镜中的一者或多者来将所述一个或多个第二透镜配置为提供沿所述横截面的所述一部分的具有第二波长的第二辐射的辐射注量率曲线在所述纵向尺寸上的第二平均值,所述第二平均值与在所述横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

52. 根据权利要求49所述的方法,包括通过将所述一个或多个第一和第二透镜成形、定位所述一个或多个第一和第二透镜以及由具有折射率的材料制作所述一个或多个第一和

第二透镜中的一者或多者来将所述一个或多个第一透镜和所述一个或多个第二透镜配置为提供沿所述横截面的所述一部分的来自第一和第二固态UV发射器的辐射的辐射注量率曲线之和在所述纵向尺寸上的平均值,所述平均值与在所述流体流动通道的所述内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

53. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,所述内孔具有圆形横截面,并且所述纵向方向流体速度曲线具有椭圆抛物面形状。

54. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,所述一个或多个透镜还包括准直透镜,并且所述方法包括将所述会聚透镜定位在所述固态UV发射器的中心光轴的光学路径中并相对靠近所述固态UV发射器以及将所述准直透镜定位在所述固态UV发射器的中心光轴的光学路径中并相对更远离所述固态UV发射器。

55. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,配置所述一个或多个透镜包括通过所述一个或多个透镜的形状、所述一个或多个透镜的位置和所述一个或多个透镜的折射率中的一者或多者而将所述一个或多个透镜配置为使得当所述固态UV发射器发射辐射时,并且当流体流沿纵向方向流过所述流体流动通道时,纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值与辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

56. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,所述流体流动通道的内壁包含或涂覆有反射材料,并且当所述固态UV发射器发射辐射时,来自所述内壁的辐射的反射有助于沿所述横截面的所述一部分的辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值。

57. 根据权利要求29-35中任一项所述的方法,其中,配置所述一个或多个透镜包括通过所述一个或多个透镜的位置将所述一个或多个透镜配置为使得当所述固态UV发射器发射辐射时,并且当流体流沿纵向方向流过所述流体流动通道时,纵向方向流体速度曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值与辐射注量率曲线在所述流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关。

58. 根据权利要求25所述的UV反应器,其中,所述流量限制元件是多孔的。

59. 根据权利要求58所述的UV反应器,其中,所述流量限制元件的孔隙率配置成控制在所述内孔中流动的流体的速度曲线。

60. 一种操作根据权利要求1-7中任一项所述的UV反应器的方法,所述方法包括使流体流流过所述流体流动通道,其中流过所述流体流动通道的流体具有在所述流体流动通道的内孔的横截面的所述一部分上的纵向方向流体速度曲线在所述纵向尺寸上的平均值,该流体速度曲线的平均值与所述辐射注量率曲线的平均值正相关。

61. 根据权利要求47所述的方法,其中,所述流量限制元件是多孔的。

62. 根据权利要求61所述的方法,包括配置所述流量限制元件的孔隙率并由此控制在所述内孔中流动的流体的速度曲线。

用于控制UV-LED光反应器中的流体辐射剂量的方法和设备

[0001] 相关申请的引用

[0002] 本申请要求2016年1月19日提交的标题为“METHODS AND APPARATUS FOR CONTROLLING RADIATION DOSE TO FLUIDS IN UV-LED PHOTOREACTORS (用于控制UV-LED光反应器中的流体辐射剂量的方法和设备)”的美国申请No.62/280,637的优先权。针对美国,本申请根据35 U.S.C.§119要求2016年1月19日提交的标题为“METHODS AND APPARATUS FOR CONTROLLING RADIATION DOSE TO FLUIDS IN UV-LED PHOTOREACTORS (用于控制UV-LED光反应器中的流体辐射剂量的方法和设备)”的美国申请No.62/280,637的权益。在此出于各种目的将美国申请No.62/280,637并入本申请。

技术领域

[0003] 本发明涉及紫外(UV)光反应器,更具体而言,涉及使用紫外线发光二极管(UV-LED)操作的UV反应器。具体实施方式提供了用于控制向移动通过UV-LED光反应器的流体输送辐射剂量的方法和设备。

背景技术

[0004] 紫外(UV)反应器—管理UV辐射的反应器——应用于许多光反应、光催化反应和光引发反应中。UV反应器的一个应用是用于水和空气净化。特别地,近年来UV反应器作为最有前景的水处理技术之一而出现。现有技术的UV反应器系统通常使用低压和中压汞灯来产生UV辐射。

[0005] 发光二极管(LED)通常发射这种窄带宽的辐射,使得由LED发射的辐射(对于许多应用)可以被认为是单色的(即,具有单个波长)。随着LED技术的最新进展,LED可以被设计为产生不同波长下的UV辐射,所述不同波长包括用于DNA吸收的波长以及可以用于光催化剂活化的波长。

[0006] 对于诸如水消毒的应用,UV-LED反应器通常可用于照射流体。然而,在典型的UV-LED反应器中,辐射功率分布存在相当大的变化,导致不均匀的辐射注量率分布,这在某些情况下可能非常值得注意。注量率(单位为 W/m^2)是从所有方向通过无限小的横截面积 dA 的球体的辐射通量(功率)除以 dA 。此外,通常存在流体速度曲线/分布的变化,导致流体在反应器中的停留时间分布。这两种注量率分布和速度分布现象中的任何一种或这两种现象的组合可能导致流体元件在其通过反应器时的相当宽的UV剂量分布范围。UV注量率分布和速度分布的变化(速度分布与停留时间分布有关)可能导致部分流体穿过UV反应器而没有接收到足够的UV剂量(UV注量率与停留时间的乘积),这在UV反应器领域中是已知的问题并且可以称为“短路”。短路会对UV反应器的性能产生明显不利的影响。

[0007] 相关技术的前述示例和与其相关的限制旨在是说明性的而且是非排他性的。在阅读说明书并研究附图之后,相关技术的其它限制对于本领域技术人员将变得显而易见。

发明内容

[0008] 结合系统、工具和方法来描述和说明以下实施方式及其方面,这些系统、工具和方法旨在是示例性和说明性的而不限范围。在各种实施方式中,已经减少或消除了一个或多个上述问题,而其它实施方式针对于其它改进。

[0009] 本发明的一个方面提供了一种UV-LED反应器,其具有对流体和光学环境的精确控制。UV-LED反应器可有利地以小占地面积提供对流体流的高而均匀的辐射暴露,并且可有利地提供比至少一些现有技术反应器更有效和紧凑的UV-LED反应器。UV-LED反应器可以结合到用于各种UV光反应应用的装置中,包括例如基于UV的水处理等(如下面更详细地说明的)。

[0010] 本发明的一个方面提供了一种紫外(UV)反应器,其包括:用于输送流体流的流体管道;固态UV发射器(例如紫外发光二极管或UV-LED);和包括一个或多个透镜的辐射聚焦元件。流体管道可以包括流体入口和流体出口以及位于入口与出口之间的纵向延伸的流体流动通道,该流体流动通道沿纵向方向延伸,以允许流体沿纵向方向流过其中。所述一个或多个透镜可定位在从固态UV发射器发射的辐射的辐射路径中,以引导来自固态UV发射器的辐射撞击在于流体流动通道中流动的流体上。所述一个或多个透镜可构造成提供与沿流体流动通道的内孔的横截面的一部分的纵向方向流体速度曲线在流体流动通道的纵向尺寸上的平均值正相关的沿流体流动通道的内孔的横截面的一部分的辐射注量率曲线在流体流动通道的纵向尺寸上的平均值。所述一个或多个透镜可通过从各种透镜类型之中选择一个或多个透镜、通过对所述一个或多个透镜的形状选择、通过对所述一个或多个透镜的位置的选择和通过对所述一个或多个透镜的折射率的选择中的一者或多者而被配置为提供与沿所述横截面的一部分的纵向方向流体速度曲线在纵向尺寸上的平均值正相关的沿所述横截面的一部分的辐射注量率曲线在纵向尺寸上的平均值。

[0011] 辐射聚焦元件可以包括贴近固态UV发射器设置的一个聚焦透镜或两个或更多个聚焦透镜的组合。聚焦透镜可以包括会聚透镜、发散透镜、准直透镜,或准直透镜、会聚透镜、发散透镜的任何组合,或任何其它类型的透镜。在一些实施方式中,聚焦透镜可以包括与UV发射器光学上相邻的会聚透镜和在远离会聚透镜一定适当距离的准直透镜。

[0012] 例如,在流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的任何横截面位置处,该技术的实施方式提供了辐射注量率在纵向尺寸上的平均值,其在纵向方向流体速度在纵向尺寸上的平均值较高的情况下可以较高,而在平均纵向方向流体速度较低的情况下可以较低—即平均辐射注量率与平均纵向方向速度之间的正相关。例如,在流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的任何位置处,该技术的实施方式提供了辐射注量率在纵向尺寸上的平均值,其在流体流动通道的内孔的中心处可以相对较高,其中纵向方向流体速度在纵向尺寸上的平均值可能较高,并且在流体流动通道的内孔的边缘附近或在与横截面的中心间隔开的其它位置处相对较低,其中纵向方向流体速度在纵向尺寸上的平均值可以较低。一般而言,平均辐射注量率与平均纵向方向速度之间的正相关不限于平均纵向方向速度在横截面的中心处较高的情形,并且可以使用合适的透镜配置来为其它平均纵向方向速度横截面曲线建立这种正相关。在一些实施方式中,可能希望流体流动管道的内孔的横截面的一部分内的平均辐射注量率与平均纵向方向速度之间的这种正相关是平均辐射注量率与平均纵向方向流体速度的大致比例。在一些实施方式中,流体流动通道的内孔的横截面的一部分

内的平均辐射注量率与平均纵向方向流体速度的这种比例不必是精确的比例,而是可以以具有在横截面的一部分上变化小于 $\pm 50\%$ 的比例常数的方式成比例。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 25\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 15\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 10\%$ 。存在上述比例的流体流动通道的内孔的横截面的一部分在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的 50% ,在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的 75% ,并且在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的 85% 。

[0013] 此外,对于纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的任何特定辐射注量率曲线,一个或多个流量限制元件可以被部署在流体流动通道中以限制纵向延伸的流体流动通道的内孔中的流体流量并且可成形为和/或定位成用于与沿纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面的一部分的平均辐射注量率曲线(在纵向尺寸上)正相关的沿纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面的一部分的平均纵向方向速度曲线(在纵向尺寸上)。

[0014] 例如,对于平均辐射注量率在流体流动通道的内孔的横截面的中心处相对高的特定情况下,可以部署在中心具有孔口的环形挡板,其中孔口在内孔的横截面中心,以在流体流动通道的内孔的横截面的中心处——其中平均辐射注量率较高——提供相对高的平均纵向方向速度,并在流体流动通道的内孔的横截面的边缘附近——其中平均辐射注量率较低——提供相对低的平均纵向方向速度。挡板形状和/或位置可以被调整,以提供与沿流体流动通道的内孔的横截面的一部分(其中存在上述比例)的平均辐射注量率分布正相关的平均纵向方向速度分布。在一些实施方式中,可能希望流体流动管道的内孔的横截面的一部分内的平均纵向方向流体速度与平均辐射注量率之间的这种正相关是平均纵向方向流体速度与平均辐射注量率的大致比例。在一些实施方式中,流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的平均纵向方向流体速度与平均辐射注量率的这种比例不必是精确的比例,而是可以以具有在横截面的一部分上变化小于 $\pm 50\%$ 的比例常数的方式成比例。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 25\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 15\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 10\%$ 。流体流动通道的内孔的横截面的存在上述比例的部分在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的 50% ,在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的 75% ,并且在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的 85% 。

[0015] 挡板(或其它流量限制元件)可以是静态的。挡板(或其它流量限制元件)也可以动态地调整,以适应各种进入的流动状态,从而匹配流体流动通道中的UV辐射注量率曲线。例如,可通过使挡板围绕一枢轴转动来改变挡板相对于流体流的纵向方向的角度;或可以通过滑动挡板的可扩展部分的适当调节部来调整其纵向和/或横向尺寸。

[0016] 在一些实施方式中,反应器可以包括纵向延伸的流体流动通道的阵列,任何数量的流体流动通道可以包括与本文描述的纵向延伸的流体流动通道相似的特性。在一些实施方式中,每个这样的流体流动通道可以由一个或多个对应的固态UV发射器经对应的辐射聚焦元件照射。对应的固态UV发射器和/或对应的辐射聚焦元件可以定位在它们对应的纵向延伸的流体流动通道的纵向端部处,使得照射方向大体上平行于流体流(并且在流体流的方向上和/或与流体流的方向对向)(即,在纵向方向上)。反应器可以包括发射不同UV波长的多个UV-LED。反应器可以包括被载持在反应器中的一结构上的光催化剂。反应器可以包

括添加至反应器的化学反应剂。UV-LED可以通过外部信号自动打开和关闭。反应器可包含一个或多个构件以抑制管道中的流体流动,例如静态混合器、涡流发生器、挡板和/或类似结构。

[0017] 在另一方面中,本发明提供了一种在通过包括流体入口和流体出口以及位于入口与出口之间的纵向延伸的流体流动通道的管道的流体流中获得UV光反应或UV光引发反应的方法,所述流体流动通道沿纵向方向延伸以容许流体沿纵向方向流过其中。这通过以下步骤来完成:使流体沿纵向方向流动通过纵向延伸的流体流动通道;将包括一个或多个透镜的辐射聚焦元件定位在至少一个固态UV发射器的辐射路径中;以及将所述一个或多个透镜定位成使得来自固态UV发射器的聚焦辐射被引导撞击(例如,沿纵向方向)在纵向延伸的流体流动通道中的纵向流动的流体上。该方法可以包括将所述一个或多个透镜配置为提供与沿流体流动通道的内孔的横截面的一部分的在流体流动通道的纵向尺寸上的平均纵向方向流体速度分布正相关的沿流体流动通道的内孔的横截面的一部分的在流体流动通道的纵向尺寸上的平均辐射注量率分布。配置所述一个或多个透镜可以包括从多种透镜类型之中选择所述一个或多个透镜、将所述一个或多个透镜成形、定位所述一个或多个透镜以及由具有折射率的材料制作所述一个或多个透镜。在一些实施方式中,可能希望流体流动管道的内孔的横截面的一部分内的平均辐射注量率与平均纵向方向流体速度之间的这种正相关是平均辐射注量率与平均纵向方向流体速度的大致比例。流体流动通道的内孔的横截面的存在前述比例的部分内的平均辐射注量率曲线和平均纵向方向流体速度曲线之间的关系可具有任何在上文中或文中在别处描述的特性。可使用光催化剂来促进流体中的光催化反应。可使用UV反应化学反应剂来促进光引发反应。

[0018] 在又一方面中,本发明提供了一种处理诸如水或空气的流体的方法,流体流过包括流体入口和流体出口以及位于入口和出口之间的纵向延伸的流体流动通道的管道,流体流动通道沿纵向方向延伸,以允许流体沿纵向方向流过其中。这通过以下步骤来完成:使流体沿纵向方向流动通过纵向延伸的流体流动通道;将辐射聚焦元件定位在至少一个UV发光二极管(UV-LED)的辐射路径中;以及将辐射聚焦元件配置(例如,选择、成形、定位、由具有合适的折射率的材料制造和/或类似处理手段)成使得来自UV-LED的聚焦辐射被引导撞击(例如沿纵向方向)在纵向延伸的流体流动通道中的纵向流动的流体上。辐射聚焦元件可以包括一个或多个透镜,其可被配置(例如,选择、定位、成形、由具有合适的折射率的材料制造和/或类似处理手段)成用于提供与纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的平均(在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关的纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的平均(在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上)辐射注量率曲线。在一些实施方式中,可能希望流体流动管道的内孔的横截面的一部分内的平均辐射注量率与平均纵向方向速度之间的这种正相关是平均辐射注量率与平均纵向方向流体速度的大致比例。流体流动通道的内孔的横截面的存在前述比例的部分内的平均辐射注量率曲线和平均纵向方向流体速度曲线之间的关系可具有任何在上文中或文中在别处描述的特性。当紫外线辐射被发射到流体流中时,流体流中的微生物和化学污染物可以被灭活和/或消除。

[0019] UV反应器的效率可以由总UV注量决定,UV注量是传递到反应器中的流体的辐射暴露。UV注量是UV注量率与暴露时间的乘积,UV注量率包括入射辐射功率(作为从所有方向通

过无限小的横截面积 dA 的球体的辐射功率除以 dA 的积分)或与其相关。可以通过调整反应器中的UV-LED辐射功率曲线来控制UV反应器中的注量率,同时可以通过调整移动通过反应器的流体的反应器流体动力学性能来控制暴露时间。本发明的一些实施方式的UV-LED反应器通过其对辐射功率曲线和移动通过反应器的流体的流体动力学性能两者的精确控制来提供高反应器性能。此外,本发明的一些实施方式的UV-LED反应器可以通过增加在反应器中处理的流体的UV剂量(注量)分布的均匀性以及通过将大部分UV辐射直接传递到流体而不是将UV辐射能量损失到反应器壁上来提高效率。

[0020] 在一个变型中,本发明的一方面提供了一种反应器,其利用一个或多个紫外发光二极管(UV-LED)来在流体中产生光反应或光引发反应。UV-LED反应器包括单个或一系列纵向延伸的流动通道(管道、管子),流体沿对应的纵向方向流过所述流动通道,使用一个UV-LED或UV-LED的阵列照射所述流动通道。反应器可以包括单个纵向延伸的流体流动通道、一系列并列的流体流动通道或多个流体流动通道的叠加。在多通道反应器中,流体流可通过并列或串置的通道(流体流从一个通道来到另一通道,其中流体通道在它们的端部处流体连通)。流体可主要沿纵向延伸的通道的纵向方向流动。UV-LED辐射经由辐射聚焦元件如一个或多个会聚透镜、一个或多个准直透镜或一个或多个会聚透镜和一个或多个准直透镜的组合聚焦。在一些实施方式中,聚焦元件可以包括与UV发射器光学上相邻的会聚透镜和在远离会聚透镜一定适当距离的准直透镜。在反应器通道中沿纵向方向流动的流体由来自UV-LED的聚焦辐射沿通道的纵向方向照射。LED可定位在流动通道的一端或两端处。可以通过调整流体流速和/或调节UV-LED辐射功率和/或开/关多个UV-LED来控制传递到流体的总UV剂量(UV注量)。根据本发明的一些实施方式的反应器配置有利于具有全部集成的构件的高效和紧凑的UV反应器的设计和制作。

[0021] 在本发明的一些实施方式中,辐射聚焦元件包括贴近UV-LED设置的一个或多个聚焦透镜,例如一个或多个准直透镜或一个或多个会聚透镜。每个透镜可以是单独的透镜或集成在UV-LED装置中的透镜。透镜可由石英或另一种UV透明材料制成。在一些实施方式中,可以使用一个或多个准直透镜和一个或多个会聚透镜的组合。可以调整辐射聚焦元件,以提供在纵向延伸的流动通道的内孔的中心——在此流体通常具有较高速度(和较低的停留时间)——处的较高注量率和在通道壁(内孔的边缘)——在此流体通常具有较低速度(和较高的停留时间)——附近的较低注量率。结果,当流体离开反应器或纵向延伸的流体流动通道时,流体的各组分已接收到类似或相当的UV剂量。在实践中,可以实现这一点的一种方式是使用一个或多个聚焦透镜作为辐射聚焦元件(例如会聚透镜或会聚透镜和准直透镜的组合,其不必关于辐射源定位在其焦距距离内)以基于速度曲线来聚焦通道中的辐射注量率。包含根据速度曲线来调整UV-LED辐射的UV-LED反应器的这种特定配置可以引起UV-LED辐射功率的更有效利用并改善反应器性能。

[0022] 为了解释与平均流体速度成比例的平均辐射注量率的概念,这里我们提供了非限制性示例。对于圆筒形流体流动通道(即具有带圆形横截面的内孔),流体的速度曲线可以是椭圆抛物面(三维抛物线形);半径与通道横截面的半径 R 一致。如果纵向延伸的流动通道的长度是 $0.2m$ 并且在通道内孔的横截面的中心($r=0$)处的平均(在流动通道的纵向长度上)速度是 $0.2m/s$,则在 $r=0$ 处移动的流体的停留时间(在纵向延伸的流体流动通道中)是1秒。例如,如果我们假设 $r=0.5R$ 处的平均速度是 $0.1m/s$,那么在 $r=0.5R$ 处移动的流体的停

留时间(在纵向延伸的流体流动通道中)是2秒。由于UV剂量(UV注量)是停留时间(暴露时间)乘以UV注量率的乘积,为了使在 $r=0$ 处和在 $r=0.5R$ 处移动的流体的一部分都接收相同剂量,希望调整辐射注量率以使得在 $r=0$ 处,平均(在流动通道的纵向长度上)辐射注量率为在 $r=0.5R$ 处的值的近似两倍。例如,如果在 $r=0$ 处的注量率为 $2\text{mJ}/\text{cm}^2$,则其在 $r=0.5R$ 处的值为 $1\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。在存在流体的最小横截面(例如径向)混合的情况下这是特别有利的。将辐射注量率调整为与速度曲线完全成比例可能并非总是容易实现的或切合实际的。在一些实施方式中,在流体流动通道的内孔的横截面的表面区域的适当部分(或流体流动通道的内孔的容积的适当部分)上平均纵向方向流体速度与平均辐射注量率正相关即可。流体流动通道的内孔的横截面的存在速度和注量率的正相关的部分在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的50%,在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的75%,并且在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面积的85%。流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的平均纵向方向流体速度与平均辐射注量率的比例不必是精确的比例,而是可以以具有在横截面的一部分上变化小于 $\pm 50\%$ 的比例常数的方式成比例。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 25\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 15\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 10\%$ 。然而,在一些实施方式中,注量率的在 $\pm 50\%$ 以内的公差水平可以是适当的。例如,对于上述示例,在 $r=0.5R$ 处的注量率可以在 $0.75\text{mJ}/\text{cm}^2$ 与 $1.25\text{mJ}/\text{cm}^2$ 之间。

[0023] 为了以替代方式解释前述概念:如果通道的内孔的横截面中的流体的速度曲线当在通道的纵向长度上平均时具有椭圆抛物面(具有椭圆形横截面的二次曲面)的形状,具有高度 h 、半长轴 a 和半短轴 b (a 和 b 对于圆形截面相同),则在通道的内孔的任何横截面处的平均UV注量率(在纵向延伸的通道的长度上平均)将具有相同形状的椭圆抛物面,其 h 、 a 和 b 参数相同。由于完美匹配不太可能容易实现或切合实际,所以可以对注量率值应用完美匹配值的 $\pm 50\%$ 的阈值。流体流动通道的内孔的横截面的一部分内的平均纵向方向流体速度与平均辐射注量率的比例不必是精确的比例,而是可以以具有在横截面的一部分上变化小于 $\pm 50\%$ 的比例常数的方式成比例。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 25\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 15\%$ 。在一些实施方式中,该比例常数变化小于 $\pm 10\%$ 。平均注量率和平均速度的这种比例在纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面的一部分上可以是真实的。流体流动通道的内孔的横截面的这种部分在一些实施方式中可以大于流体流动通道的内孔的总横截面的50%,在一些实施方式中可大于流体流动通道的内孔的总横截面的75%,并且在一些实施方式中可大于流体流动通道的内孔的总横截面的85%。

[0024] 流体(在反应器或反应器的一部分中)的停留时间定义为在流体被照射时所花费(在反应器或反应器的一部分的内部)的时间。考虑到任何流体流动管道内的速度曲线,通常每一份流体在反应器中花费不同的时间量,结果,流体的不同部分在反应器中具有不同的停留时间(存在可以平均以计算平均停留时间的停留时间分布)。流体的主要在通道的中心行进的流体通常具有较高的速度,因此在通道中的停留时间较短。

[0025] 本发明的UV-LED反应器可用于许多光反应、光催化反应和光引发反应。一个特定应用是水的净化或其它透UV流体的净化。

[0026] 本发明的一些方面提供了用于处理水的UV-LED反应器和使用UV-LED反应器来处

理水的方法。这些UV-LED反应器和对应的方法可具有与在上文中或文中在别处描述的特征类似的特征。水处理可以通过微生物(例如,细菌和病毒)的灭活和微污染物如化学污染物(例如,有毒有机化合物)的降解、通过直接光反应、光催化反应和/或光引发的氧化反应来实现。水可以通过诸如电动泵的流体移动装置的使用来流过UV-LED反应器。UV-LED可由墙壁插座或电池供电。如果适用的话,光催化剂可以固定在流体通过其上的固体衬底上,和/或在流体通过其中的多孔衬底上,包括例如网、筛、金属泡沫、布或其结合。被载持在实心或/或穿孔衬底上的光催化剂可以位于纵向延伸的流体流动通道中。光催化剂也可位于流体流动通道的横截面中,以部分或完全覆盖横截面。如果光催化剂覆盖流动通道的整个横截面,则可以使用穿孔衬底来允许流体通过光催化剂衬底。使用来自UV-LED的聚焦UV辐射照射光催化剂,从而提供UV-LED光催化反应器。光催化剂可包含二氧化钛 TiO_2 ,或任何其它光催化剂。在某些实施方式中,在实心或/或穿孔衬底上设置有一种或多种光催化剂的组合、催化剂载体和助催化剂。如果适用的话,可将诸如化学氧化剂的化学试剂喷射到UV反应器中。化学氧化剂可以包括过氧化氢 H_2O_2 ,臭氧 O_3 或其它化学品。

[0027] 在本文描述的UV-LED反应器的一些应用中,UV-LED反应器可用于在使用点应用中、特别是在低至中等流速应用中处理水。例如,UV-LED反应器可以结合到分配或使用水或水基流体(例如咖啡或其它饮料)供人食用的器具中。这些器具可以包括冰箱、冷冻机、制冰机、冷冻饮料机、水冷却器、咖啡机、自动售货机等。本文描述的UV-LED反应器的其它应用包括用于健康相关设备中的水的处理。此类设备可以包括例如血液透析机、结肠水疗设备等。结合到任何一个上述器具或设备中的反应器的UV-LED可以在水开始或停止流动时自动打开和关闭,以处理在器具或设备中使用或分配的水。UV-LED反应器减少离开水管的水中的微生物污染(用于消耗或使用)并降低感染风险。UV-LED反应器可以连同诸如过滤等其它形式的水净化方法一起集成在这些设备中。

[0028] 在一些实施方式中,可以在纵向延伸的流体流动通道中部署静态混合器、涡流发生器、挡板等,以增加混合和/或使流在它经过流体流动通道时旋转。这可以通过输送更均匀的UV剂量或通过改善其中反应器中存在光催化剂的光催化剂表面附近的传质来提高UV-LED反应器性能。静态混合器、涡流发生器、挡板等也可用作流量限制元件,其可动态地调整以适应各种进入的流动状态,从而匹配如本文描述的流体流动通道中的UV辐射注量率曲线。

[0029] 在一些实施方式中,反应器包括发射不同UV波长的多个UV-LED。这可以产生协同效应并提高光反应和光催化反应的速度。

[0030] 一些实施方式包括以脉冲模式操作的UV-LED。例如,LED可在高频率下脉冲。这种操作模式可以影响光反应速度以及光催化剂的电子-空穴重组,以便提高光催化效率。

[0031] 在一些实施方式中,UV-LED可以被编程为自动打开和关闭。例如,当流体流动开始或停止在反应器中移动(这可用于使用点应用中的水净化)时,或者在特定时间间隔时,可能需要打开/关闭UV-LED。为了控制UV-LED的开/关状态,可使用传感器来检测流体流动通道中的流体运动。或者,用户可以直接(例如,通过打开和关闭开关)或者作为间接动作(例如通过打开和关闭水龙头)物理地激活传感器。此特征可有利地节省反应器使用的能量。作为另一个例子,可能希望以特定的时间间隔打开/关闭UV-LED以在UV反应器室不工作一段时间时清洁UV反应器室,从而防止任何潜在的微生物生长、微生物从未处理的上游流体扩

散,和/或防止任何生物膜形成。为了控制UV-LED的开/关状态,可以应用微控制器并对其进行编程以在特定时间间隔(例如,每隔几小时一次)打开UV-LED一段时间(例如,几秒钟)。

[0032] 在一些实施方式中,响应于接收到信号,至少一些UV-LED可以被编程为调整其功率输出或自动打开或关闭。例如,当经过UV-LED反应器的流体的流速(或其它可测特性)改变时,可以产生信号。在流体为水的实施方式中,可测特性可以是指示水质或污染物的浓度的特性。水质指标的例子包括UV透射率和浊度。这种配置可以促进基于特定操作状态来将适当的辐射能量引导到流体。

[0033] 在一些实施方式中,可以在UV-LED反应器上或在另一个可见位置(例如,在应用为水处理的情况下在水龙头上)设置视觉指示器,例如液晶显示器(LCD)或光信号(例如彩色LED),以告知用户反应器和UV-LED的状态。例如,当UV-LED打开时,可以显示LCD上的标记或者可以打开彩色LED,其对用户指示UV-LED的“打开”状态。

[0034] 为了增加或维持UV-LED的寿命,流过流体流动通道的流体可以通过传递LED产生的热量来用于UV-LED的热管理。UV反应器可以配置成使得流体的一部分在UV-LED或UV-LED电路板附近循环,和/或通过在流体流动通道的壁中加入导热材料而配置。

[0035] 除了上述示例性方面和实施方式之外,通过参考附图并研究以下详细描述,其它方面和实施方式将变得显而易见。

附图说明

[0036] 示例性实施方式在附图的参考图中示出。本文公开的实施方式和附图旨在被认为是说明性的而不是限制性的。

[0037] 图1A示出了经过准直透镜的UV-LED辐射束;

[0038] 图1B示出了经过会聚透镜的UV-LED辐射束;

[0039] 图2A和2B是根据示例实施方式的UV-LED反应器的特定配置的纵向延伸的流体流动通道的一部分的示意性侧视图;

[0040] 图2C是根据示例性实施方式的UV-LED反应器的配置的纵向延伸的流体流动通道的一部分的示意性侧视图;

[0041] 图3是根据示例性实施方式的UV-LED反应器的特定配置的纵向延伸的流体流动通道的一部分的一个变型的示意性侧视图;

[0042] 图3A是根据示例性实施方式的UV-LED反应器的特定配置的纵向延伸的流体流动通道的一部分的一个变型的示意性侧视图;

[0043] 图4是根据示例性实施方式的UV-LED反应器的示意性透视图;

[0044] 图5A是图4所示的UV-LED反应器的示意性顶视图;

[0045] 图5B是图4所示的UV-LED反应器的示意性侧视图;

[0046] 图5C是图4所示的UV-LED反应器的示意性侧视图;

[0047] 图6是根据一个特定示例性实施方式的UV-LED反应器的示意性顶视图;

[0048] 图7和8是包括多个UV-LED的根据一个特定实施方式的UV-LED反应器的纵向延伸的流体流动通道的一部分的示意性侧视图,每个UV-LED具有一个或多个透镜,照射流动通道中的流体;

[0049] 图9示出了包括多个出口的根据示例性实施方式的UV-LED反应器;

- [0050] 图10示出了包括流量分配器的根据示例性实施方式的UV-LED反应器；
- [0051] 图11和12是包括由照射流动通道中的流体的多个UV-LED共享的一个或多个透镜的根据一个特定实施方式的UV-LED反应器的纵向延伸的流体流动通道的一部分的示意性侧视图；
- [0052] 图13A至13E是UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略侧视图；
- [0053] 图14A和14B是UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略侧视图；
- [0054] 图15A、15B和15C分别是UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略顶视图、侧视图和透视图；
- [0055] 图16A、16B和16C分别是UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略顶视图、侧视图和透视图；
- [0056] 图16D是图16A、16B和16C的实施方式的部分概略顶视图，示出了紫外线；
- [0057] 图17A和17B是UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略透视图；
- [0058] 图18A和18B是UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略透视图；
- [0059] 图19是应用于水处理的UV-LED反应器的示例性实施方式的部分概略透视图；
- [0060] 图20是结合了根据示例性实施方式的UV-LED反应器的冰箱的部分概略透视图；以及
- [0061] 图21是结合了根据示例性实施方式的UV-LED反应器的血液透析机的部分概略透视图。

具体实施方式

[0062] 在全部以下描述中，阐述了具体细节以便为本领域技术人员提供更透彻的理解。然而，可能未详细示出或描述众所周知的元件以避免不必要地使本公开模糊。因此，说明书和附图应被视为是在说明的意义上而不是在限制的意义。

[0063] 本技术涉及利用一个或多个固态UV发射器（例如紫外发光二极管或UV-LED，发射UV的薄介电膜等）操作的反应器（光反应器），所述发射器发射UV辐射以引起流体中的光反应。通过UV活化的一种或多种光催化剂结构可以在光反应器中用于光催化反应。还可以将化学氧化剂添加到反应器中以与UV辐射反应并产生用于光引发的氧化反应的高活性自由基，例如羟基自由基。本文描述的UV-LED反应器的实施方式可以是高效且紧凑的，具有集成的构件，并且可以提供对其流体和光学环境的精确控制。UV-LED反应器包括一个或多个专门设计的流动通道和配置用于照射流过流动通道的流体的UV-LED阵列。辐射聚焦元件可以集成在UV-LED中或者设置在UV-LED附近，并且可以（例如通过适当选择透镜（例如，从多种透镜类型、构造方法等之中选择），通过透镜的定位（包括取向），通过透镜的成形（包括尺寸确定），通过由具有合适折射率的材料制造和/或经类似手段处理的透镜）被配置，以聚焦由UV-LED发射的UV辐射，从而提供与纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面（或其一部分）内的平均（在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上）纵向方向流体速度曲线正相关的沿纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面（或其一部分）的平均（在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上）辐射注量率曲线。在一些实施方式中，这种正相关可以包括与纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面（或其一部分）内的平均（在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上）纵向方向流体速度曲线大致成比例的纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面

(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上)辐射注量率曲线。虽然这些参数(辐射注量率和流体速度)在于流体流动通道的纵向尺寸上平均时可以表现出这些特征(正相关和/或大致比例性),但在一些实施方式中,这些参数(辐射注量率和流体速度)可以在流体流动通道的纵向尺寸的一部分上的每个横截面处表现出这些特征(正相关和/或大致比例性)。UV-LED反应器可以包括挡板、涡流发生器、静态混合器或类似物(例如其它流量限制元件),以改变流动的流体动力学性能,由此提高UV-LED反应器的性能。特别地,可以动态地调整挡板、涡流发生器或静态混合器以适应各种进入的流动状态,从而与流体流动通道中的UV辐射注量率曲线正相关。

[0064] UV-LED反应器的实施方式可通过利用直接光反应和/或光催化反应和/或光引发氧化灭活微生物(例如细菌、病毒和/或类似物)和/或降解微污染物如化学污染物(例如有毒的有机化合物和/或类似物)来用于水净化。流体(例如,水)通过使用例如电动泵的强制对流来流过UV-LED反应器。UV-LED可由墙壁插座、太阳能电池或电池供电。当流体流动或停止流动时,UV-LED可以自动打开和关闭。光催化剂如二氧化钛 TiO_2 或其它合适的光催化剂可被固定在固体衬底(其中流体经过衬底)上或多孔衬底(其中流体通过衬底)上。在一些实施方式中,可以在流体流动通道中的衬底中设置光催化剂、催化剂载体和/或助催化剂的组合。如果适用的话,可以附加地或替代地将化学氧化剂注入到反应器中。化学氧化剂可以包括过氧化氢 H_2O_2 或臭氧 O_3 或其它化学品。如果适用的话,可以附加地或替代地将化学还原剂注入到反应器中。化学氧化剂或化学还原剂可以通过电化学方法或其它方法在UV反应器上游的流中或在UV反应器内部产生。

[0065] 使用UV-LED作为UV辐射源进行操作的反应器具具有优于传统汞UV灯的优点,包括但不限于其紧凑和坚固的设计、较低的电压和功率要求以及以高频率开启和关闭的能力。与UV灯不同,UV-LED是具有单独的小尺寸的辐射源。与UV灯的布置相比,它们可以位于具有更高自由度(例如更高精度)的反应器中。此外,UV-LED反应器的性能可以通过优化反应器几何形状、反应器流体动力学性能和如本文描述的UV辐射分布来提高。特别地,可以基于UV-LED辐射图案和流场流体动力学性能的组合来优化本文描述的UV-LED反应器的实施方式,由此促进改善的向流体的UV剂量输送。

[0066] 图1A和1B是UV-LED准直辐射11(图1A)和会聚辐射12(图1B)的示意性侧视图。图1A示出了从LED 14出射的经过准直透镜15之后的辐射束13。图1B示出了从LED 17出射的经过会聚透镜18之后的辐射束16。图1A和1B所示的箭头指示辐射束的主方向。

[0067] 图2A和2B示出了根据示例性实施方式的两种对应的UV-LED反应器配置的纵向延伸的流体流动通道的部分侧视图。图2A和2B示出了从其纵向端部之一被照射的图示的流动通道。一般而言,图2A-2B的纵向延伸的通道部署在其中的UV-LED反应器的通道可以从流体流动通道的任一个或两个纵向端部被照射。一般而言,图2A-2B的纵向延伸的通道部署在其中的UV-LED反应器可以包括单通道反应器(即具有类似于图2A-2B所示的单个通道)或具有多个类似于图2A或2B的反应器的纵向延伸的通道或多通道反应器。入口和出口取向及其流体流动方向对于多通道反应器而言与对于单通道反应器的那些不同。图2A和2B所示的直箭头指示流体流动的主方向,其与流体流动通道延伸的纵向方向相同。

[0068] 图2A示出了具有纵向延伸的流体流动通道101和UV-LED 106的UV-LED反应器30的一部分的侧视图,在该反应器中流体(未示出)正在以沿流体流动通道101的内孔的横截面

变化的纵向方向速度曲线102移动。特别地,图2A的实施方式中的流体在流体流动通道101的横截面的中心处或附近具有最高速度($u_{\max}$),而在远离流体流动通道101的横截面的中心的位置处具有较低的速度。从UV-LED 106发射的辐射105穿过辐射聚焦元件104(其可以包括一个或多个透镜)并且聚焦(在103处)以撞击在正于纵向延伸的流动通道101的内孔中沿纵向方向行进的流体上。辐射聚焦元件104可以被配置(例如,具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成以这样的方式聚焦来自UV-LED 106的辐射,即在流体流动通道101的内孔的横截面的中心——在此流体具有相对高的纵向方向速度——处提供相对高的辐射注量率。相反,辐射聚焦元件104可以被配置(例如,具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成以这样的方式聚焦来自UV-LED 106的辐射,即在与流体流动通道101的内孔的横截面的中心间隔开的位置处提供相对低的辐射注量率。对于合适地配置的辐射聚焦元件104(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜),沿纵向延伸的流动通道101的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道101的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道101的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道101的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。因此,当流体离开反应器(或离开流体流动通道101)时,流体的每种组分可以接收相似或相当的聚集UV辐射剂量。

[0069] 在实践中,这可以通过将辐射聚焦元件104构造成包括一个或多个聚焦透镜来实现,所述聚焦透镜以实现上述特征的方式基于通道101中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道101的内孔中。在一些实施方式中,此类聚焦透镜可以包括:如图1B所示的会聚透镜18和/或如图1A所示的准直透镜15,其可以不必相对于UV辐射源定位在其焦距处;然而,也可以使用一个或多个会聚透镜、发散透镜和/或准直透镜的其它组合来实现所需的辐射注量率曲线。虽然在图2A所示的实施方式中仅示出了一个聚焦透镜,但这仅是为了说明的方便。在一些实施方式中,图2A所示的聚焦元件104可以包括多个透镜(包括会聚透镜、准直透镜、其结合和/或类似物)。在一些实施方式中(例如下面参考图7和8描述的实施方式),可以将多个聚焦透镜(包括会聚透镜、准直透镜、其结合和/或类似物)设置为辐射聚焦元件,从而以实现上述特征的方式基于通道101中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道101的内孔中。在图2A所示的实施方式中,流体流动通道101的内孔内的辐射被显示为半透明的,从而可以观察流体流动通道101的内孔中的流体的纵向方向速度曲线102。

[0070] 图2B示出了具有纵向延伸的流体流动通道111和UV-LED 116的UV-LED反应器40的一部分的侧视图,在该反应器中流体(未示出)正在以沿流体流动通道101的内孔的横截面变化的纵向方向速度曲线112移动。特别地,图2B的实施方式中的流体在流体流动通道111的横截面的中心处或附近具有最高速度($u_{\max}$),并且在远离流体流动通道111的横截面的中心的位置处具有较低速度。比较图2A和2B所示的实施方式,图2B实施方式在通道111的横截面上的流体速度曲线的变化的相对量大于图2A实施方式在通道101的横截面上的流体速度曲线的变化的相对量。也就是说,在图2A的实施方式中,通道101的横截面的中心处的最高速度与远离通道101的横截面的中心的位置处的速度之间的差异相对较低,而在图2B的实施方式中,通道111的横截面的中心处的最高速度与远离通道111的横截面的中心的位置处

的速度之间的差异相对较高。

[0071] 类似于图2A的实施方式,在图2B的实施方式中,从UV-LED 116发射的辐射115穿过辐射聚焦元件114(其可以包括一个或多个透镜)并且聚焦(在113处)以撞击在正于纵向延伸的流动通道111的内孔中沿纵向方向行进的流体上。辐射聚焦元件114可以被配置(例如,具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成以这样的方式聚焦来自UV-LED 116的辐射,即在流体流动通道111的内孔的横截面的中心——在此流体具有较高的相对纵向方向速度——处提供较高的相对辐射注量率。相反,辐射聚焦元件114可以被配置(例如,具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成以这样的方式聚焦来自UV-LED 116的辐射,即在与流体流动通道111的内孔的横截面的中心间隔开的位置处提供较低的相对辐射注量率。对于合适地配置的辐射聚焦元件114(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜),沿纵向延伸的流动通道111的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道111的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道111的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道111的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。图2B的实施方式的结果与图2A的实施方式的结果相同-即,当流体离开反应器(或离开流体流动通道111)时,流体的每种组分可以接收相似或相当的聚集UV辐射剂量。

[0072] 在实践中,这可以通过将辐射聚焦元件114构造成包括一个或多个聚焦透镜来实现,所述聚焦透镜以实现上述特征的方式基于通道111中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道111的内孔中。在一些实施方式中,此类聚焦透镜可以包括:如图1B所示的会聚透镜18和/或如图1A所示的准直透镜15,其可以不必相对于UV辐射源定位在其焦距处;然而,也可以使用一个或多个会聚透镜、发散透镜和/或准直透镜的其它组合来实现所需的辐射注量率曲线。虽然在图2B所示的实施方式中仅示出了一个聚焦透镜,但这仅是为了说明的方便。在一些实施方式中,图2B所示的聚焦元件114可以包括多个透镜(包括会聚透镜、准直透镜、其结合和/或类似物)。在一些实施方式中(例如下面参考图7和8描述的那些),可以将多个聚焦透镜(包括会聚透镜、准直透镜、其结合和/或类似物)设置为辐射聚焦元件,从而以实现上述特征的方式基于通道111中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道111的内孔中。在图2B所示的实施方式中,流体流动通道111的内孔内的辐射113被显示为半透明的,从而可以观察流体流动通道111的内孔中的流体的纵向方向速度曲线112。

[0073] 图2C示出了具有纵向延伸的流体流动通道121和UV-LED 126的UV-LED反应器50的一部分的侧视图,在该反应器中流体(未示出)正在以沿流体流动通道121的内孔的横截面变化的纵向方向速度曲线122移动。特别地,图2C的实施方式中的流体在流体流动通道121的横截面的中心处或附近具有最高速度($u_{\max}$),而在远离流体流动通道121的横截面的中心的位置处具有较低速度。从UV-LED 126发射的辐射125穿过辐射聚焦元件124(其可以包括一个或多个透镜)并且聚焦(在123处)以撞击在正于纵向延伸的流体流动通道121的内孔中沿纵向方向行进的流体上。辐射聚焦元件124可以被配置(例如,具有被选择、成形、定位、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成以这种方式聚焦来自UV-LED 126的辐射,即通过首先会聚(作为通过辐射聚焦元件124的一个或多个透镜的结果)并且然

后(一旦它全部会聚并且光子继续沿着它们的路径行进)便自然发散来在流动通道121的内孔的横截面的中心(在此流体具有相对高的纵向方向速度)处提供相对高的辐射注量率。相反,辐射聚焦元件124可以被配置(例如,具有被选择、成形、定位、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成以这样的方式聚焦来自UV-LED 126的辐射,即在与流体流动通道121的内孔的横截面的中心间隔开的位置处提供相对低的辐射注量率。对于合适地配置的辐射聚焦元件124(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜),沿纵向延伸的流动通道121的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道121的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道121的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道121的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。图2C的实施方式的结果与图2A的实施方式和图2B的实施方式的结果相同-即,当流体离开反应器(或离开流体流动通道121)时,流体的每种组分可以接收相似或相当的UV聚集辐射剂量。

[0074] 在实践中,这可以通过将辐射聚焦元件124构造成包括一个或多个聚焦透镜来实现,所述聚焦透镜以实现上述特征的方式基于通道121中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道121的内孔中。在一些实施方式中,此类聚焦透镜可以包括:如图1B所示的会聚透镜18和/或如图1A所示的准直透镜15,其可以不必相对于UV辐射源定位在其焦距处;然而,也可以使用一个或多个会聚透镜、发散透镜和/或准直透镜的其它组合来实现所需的辐射注量率曲线。虽然在图2C的实施方式中仅示出了一个聚焦透镜,但这仅是为了说明的方便。在一些实施方式中,图2C所示的聚焦元件124可以包括多个透镜(包括会聚透镜、准直透镜、其结合和/或类似物)。在一些实施方式中(例如下面参考图7和8描述的那些),可以将多个聚焦透镜(包括会聚透镜、准直透镜、其结合和/或类似物)设置为辐射聚焦元件,从而以实现上述特征的方式基于通道121中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道121的内孔中。在图2C所示的实施方式中,流体流动通道的内孔内的辐射123被显示为半透明的,从而可以观察流体流动通道121的内孔中的流体的速度曲线122。

[0075] 图2B的实施方式中的速度曲线112与图2A中的速度曲线102不同。在图2B中,与图2A的实施方式的速度变化相比,沿流体流动通道111的横截面的速度变化更大(即,图2B的实施方式的在流体流动通道111的内孔的横截面的中心的最高速度 $u_{\max}$ 和与流体流动通道111的内孔的横截面的中心间隔开的位置处之间的流体速度的变化大于图2A的实施方式的在流体流动通道101的内孔的横截面的中心的最高速度 $u_{\max}$ 和与流体流动通道101的内孔的横截面的中心间隔开的位置处之间的流体速度的变化)。这样,图2B的实施方式的辐射聚焦元件114被配置(例如,具有被选择、定位、成形和/或由具有合适折射率的材料制成的透镜)成以这样的方式聚焦辐射,即相对于图2A的实施方式的注量率变化在图2B的实施方式的在内孔111的横截面上提供明显更高的注量率变化(即,图2B的实施方式的在流体流动通道111的内孔的横截面的中心和与流体流动通道111的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化大于图2A的实施方式的在流体流动通道101的内孔的横截面的中心和与流体流动通道101的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化)。图2B的实施方式中的UV辐射在内孔的横截面的中心可以比在与内孔的横截面的中心间隔开的位置处更明显地聚焦。

[0076] 相比之下,在图2A的实施方式中,速度仅在流体流动通道101的内孔的横截面的中

心处适度地较高。这样,图2A的实施方式的辐射聚焦元件104被配置(例如,具有被选择、定位、成形和/或由具有合适折射率的材料制成的透镜)成相对于图2B的实施方式的注量率变化提供适度地较高的在图2A的实施方式的内孔101的横截面上的注量率变化(即,图2A的实施方式的在流体流动通道101的内孔的横截面的中心和与流体流动通道101的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化小于图2B的实施方式的在流体流动通道111的内孔的横截面的中心和与流体流动通道111的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化)。图2A的实施方式中的UV辐射在内孔的横截面的中心可以比在与内孔的横截面的中心间隔开的位置处更适度地聚焦。

[0077] 应当理解,结合到如本文描述的UV-LED反应器的实施方式中的辐射聚焦元件可被配置(例如,通过适当选择透镜、通过透镜的成形、通过透镜的定位和/或通过由具有合适折射率的材料制造透镜)成以这样的方式聚焦辐射,即在内孔的横截面中的不同位置处提供相对不同量级/大小的辐射注量率,并且这种辐射注量率变化可以取决于沿内孔的横截面的流体速度曲线。因此,在内孔的横截面的中心处的速度明显更高的情况下,UV辐射在流体流动通道的内孔的横截面的中心处可以明显较多地聚焦,以在流体流动通道的内孔的横截面的中心处提供明显更大的注量率,如例如图2B中所示。

[0078] 图3示出了具有纵向延伸的流体流动通道133、UV-LED 136和透UV窗135的UV-LED反应器60的一部分的侧视图,在该反应器中流体(未示出)正以通过箭头131示出的纵向方向速度曲线移动。从LED 136发射的辐射具有特定辐射注量率曲线,在图示的实施方式中,在流体流动通道133的横截面的中心处具有相对较高的注量率并且在远离流体流动通道133的横截面的中心的位置处具有相对较低的注量率。流量限制元件132设置在流体流动通道133中并且被配置(例如,成形等)成在流动通道133的内孔的横截面的中心——在此流体暴露于相对较高的辐射注量率——处提供相对较高的纵向方向流量(和速度)并且在与流体流动通道133的内孔的横截面的中心间隔开的位置处提供相对较低的速度。应用适当形状的流量限制元件132可以引起流体流动通道133的内孔中的纵向流动的流体的平均(在纵向延伸的流动通道133的纵向尺寸上)横截面速度曲线的变动,使得沿流动通道133的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流动通道133的纵向尺寸上)纵向方向速度曲线可以与沿流动通道133的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流动通道133的纵向尺寸上)辐射注量率曲线正相关,或在一些实施方式中与其大致成比例。因此,当流体离开反应器(或流体流动通道133)时,流体的每种组分可以接收相似或相当的UV辐射剂量。

[0079] 在实践中,这可以使用挡板或其它流量限制元件132以基于辐射注量率曲线修改在流体流动通道133的内孔中流动的流体的纵向方向速度曲线来实现。例如,如果辐射注量率在流体流动通道133的内孔的中心处比在远离内孔的中心的位置处明显更高,则可以应用截头锥形挡板132(如图3所示)(其轴线与纵向取向的通道轴线对齐),以将流体更多地引向通道133的内孔的横截面的中心并在通道133的内孔的横截面的中心提供更高的流体速度。应当理解,可以使用在横截面的中心处具有孔洞的具有其它形状的流量限制装置来在通道133的内孔的横截面的中心处提供更高的流体速度。另一方面,如果辐射注量率沿通道133'的内孔的横截面相对均匀地分布,则在通道133'的内孔的横截面的中心处可以使用小的圆形或圆锥形挡板132'(如图3A所示)(使用小支架保持在通道壁上),以将流体更多地引

向通道133'的内孔的横截面的边缘并由此当在通道的纵向长度上平均时提高远离横截面的中心的位置处的速度(相对于横截面处的速度)。应当理解,可以使用具有远离横截面中心的孔洞的具有其它形状流量限制装置来在远离通道133'的内孔的横截面的中心的位置处提供相对较高的流体速度。

[0080] 上述概念也可应用于如在下文中描述的多通道反应器(例如具有多个纵向延伸的通道反应器,每个这样的通道都类似于图2A、2B、2C和3所示的通道)的每个通道。对于在图4至6的示例性实施方式中描述的UV-LED反应器,可以通过应用适合的光学透镜来聚焦LED的辐射图案,所述光学透镜要么集成在UV-LED中,要么设置在其附近。为了方便说明起见并且为了更清楚地观察反应器概念,图中未清楚地示出图4至6的示例性实施方式中的用于聚焦UV-LED辐射的光学透镜。

[0081] 图4和图5示出了根据一个示例性实施方式的UV-LED反应器10的示意性透视图(图4)、顶视图(图5A)和侧视图(图5B和5C)。UV-LED反应器10包括壳体31、用于沿纵向方向输送流体(例如,水)通过其中的具有通道壁37的纵向延伸的流动通道32、用于流体进入的入口33和用于流体离开的出口34、放置在LED箱体38中的一个或多个UV-LED 35、以及设置在LED箱体38与流动通道32之间的透UV窗36,例如石英窗。UV-LED 35可以安装在印刷电路板(未示出)上。如本领域技术人员应当理解的,UV-LED反应器10可以包括一个或多个散热器、用于UV-LED 35的驱动电路、微控制器和其它电子机构、电源端口和通/断开关。为说明的简单起见,这些构件在图4和5中未被示出。一个或多个透镜(图4和5中未清楚地示出)——包括准直透镜、会聚透镜和/或其它透镜,或其结合——可在UV-LED 35与流体流动通道32之间设置在反应器10中,以将UV-LED辐射图案聚焦到每个纵向延伸的流动通道32中。每对内部相邻的流动通道32在反应器10的一端处流体连通以便流体从一个通道32来到相邻通道32(流体在其通过反应器10的路线上行进通过多个流体流动通道32)。主流体流动方向在图4和5中通过箭头示出,箭头示出了流体流从入口33进入反应器10,流经纵向延伸的通道32,在相邻的内部通道32的端部处转向,并从出口34离开。

[0082] 在图4和图5的实施方式中,流体流入和流出UV-LED反应器10,经过纵向延伸的通道32,并由来自UV-LED 35的UV辐射照射。LED 35定位在流动通道32的一端处。辐射束和流动的主方向沿着纵向延伸的流体流动通道32的纵向方向(例如,沿与纵向轴线对齐的方向)往复。反应器10可用于实现流体流中的UV光反应。反应器10也可用于处理流体,例如处理水。UV-LED 35可通过外部信号——例如来自检测流体流量的装置的信号——自动打开和关闭。

[0083] 图6示出了根据本发明的一个示例性实施方式的UV-LED反应器20。在图6所示的实施方式中,UV-LED反应器20包括壳体54、流动通道壁55(其限定用于沿纵向方向将诸如水的流体输送通过其中的对应的纵向延伸的流体流动通道53)、用于流体进入的入口56和用于流体离开的出口57、LED 58、以及设置在LED 58与纵向延伸的通道之间的透UV窗59。一个或多个透镜(图6中未清楚地示出)——包括准直透镜、会聚透镜和/或其它透镜,或其结合——可在UV-LED 58与流体流动通道53之间设置在反应器20中,以将UV-LED辐射图案聚焦到每个纵向延伸的流动通道53中。UV-LED反应器20是多通道反应器,其中当流体流移动通过反应器通道53时,流体流在一些纵向延伸的通道53A(图6的实施方式的位于反应器20的两侧的两个外部通道53A)中由UV-LED从一端照射并且在一些通道53B(图6的实施方式的

反应器20的两个内部通道53B)从两端照射。与上述任何实施方式一样,一般而言,反应器20的任何流体流动通道53可以从其纵向端部中的一个或两个纵向端部被照射。在一些实施方式中,这可以包含入口56和出口57相对于纵向方向的适当定向,使得LED 58可以被放置在流进入和离开的通道的纵向两端处。反应器20的主流体流动方向通过箭头示出。

[0084] 以上结合图2A、2B、2C和3描述的概念可应用于图4-6中示出的实施方式的多通道反应器的每个通道。特别地,利用合适地配置的辐射聚焦元件(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)和/或利用流动控制元件的合适选择,沿纵向延伸的流动通道的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在每个纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。

[0085] UV-LED反应器的一些实施方式包括照射流过每个纵向延伸的流体流动通道的流体的多个UV-LED(即,LED与流体流动通道的多对一比率)。在一些实施方式中,例如图7和8所示的那些(如下文描述),结合了多个聚焦元件(每个UV-LED一个聚焦元件),并且来自各UV-LED的辐射通过其对应的聚焦元件聚焦并引导到其对应的通道中。在另一些实施方式中,例如图11和12所示的那些(如下文描述),在多个UV-LED之间共享一个或多个聚焦元件(或其一部分),并且来自多个UV-LED的辐射经所述一个或多个共享的聚焦元件进入它们对应的通道中。在一些实施方式中,一个或多个LED的群组可以以任何合适的方式共享一个或多个对应的聚焦元件(或一个或多个对应的聚焦元件内的一个或多个对应的透镜)。例如,可存在共9个LED和3个透镜,其中LED被分组为3个LED成一组的三组,并且来自每组3个LED的辐射穿过与该LED群组对应的单个透镜。结合了多个UV-LED的UV-LED反应器可特别适合于具有横截面相对较大的内孔的流体流动通道。与使用单个UV-LED操作以照射流体流动通道的实施方式相比,多个UV-LED可以通过增加此类流体流动通道中的照射来帮助最大化照射覆盖。

[0086] 图7和8示出了根据实施方式的UV-LED反应器300、400,其包括用于照射每个纵向延伸的流体流动通道的多个UV-LED(即LED与流体流动通道的多对一比率)和多个聚焦元件(即LED与聚焦元件的一对一比率,应理解,一个聚焦元件可实际上包括多个透镜)。UV-LED反应器300、400在某些方面类似于图2A和2B的反应器30、40。然而,UV-LED反应器300、400与UV-LED反应器30、40的不同之处在于,UV-LED反应器300、400包括多个LED-聚焦元件组件308、408,其用于发射UV辐射以照射各UV-LED反应器300、400的纵向延伸的流体流动通道301、401中的流体。各LED聚焦元件组件308、408包括UV-LED 306、406和对应的辐射聚焦元件307、407,辐射聚焦元件307、407包括一个或多个聚焦透镜304、404。在图示的实施方式中,聚焦元件308、408被示出为针对每个UV-LED 306、406包括一个透镜304、404。透镜304、404可集成在其对应的UV-LED 306、406中,或贴近或邻近其设置。在一些实施方式中,聚焦元件308、408可以包括一个或多个透镜304、404,每个透镜可集成在其对应的UV-LED 306、406中,或贴近或邻近UV-LED 306、406设置。在LED-聚焦元件组件308、408与流体流动通道301、401之间可设置有透UV窗318、418,例如石英窗。

[0087] 在UV-LED反应器300、400中,流体(未示出)正在以沿流体流动通道301、401的内孔的横截面变化(如虚线319、419所示)的纵向方向速度曲线312、412移动。从UV-LED 306、406

发射的辐射315、415穿过聚焦元件307、407(每个聚焦元件307、407对应于UV-LED 306、406中的相应一个)并聚焦以撞击在正于纵向延伸的流动通道301、401的内孔中沿纵向方向行进的流体上。聚焦元件307、407和/或它们的聚焦透镜304、404可以被配置(例如,具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜)成在流体流动通道301、401的内孔的横截面的中心——在此流体具有较高的相对纵向方向速度——处提供较高的相对辐射注量率。相反,聚焦元件307、407和/或它们的聚焦透镜304、404可以被配置(例如,具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成的透镜)成在与流体流动通道301、401的内孔的横截面的中心间隔开的位置处提供较低的相对辐射注量率。利用合适地配置的辐射聚焦元件307、407(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜304、404),沿纵向延伸的流动通道301、401的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道301、401的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道301、401的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道301、401的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。因此,当流体离开反应器(或离开流体流动通道301、401)时,流体的每种组分可以接收类似或相当的聚集UV辐射剂量。

[0088] 在实践中,例如,这可以通过将每个聚焦元件307、407构造成包括一个或多个聚焦透镜304、404来实现,所述聚焦透镜以实现上述特征的方式基于通道301、401中的流体的预期速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道301、401的内孔中。在一些实施方式中,此类聚焦透镜可以包括:不必定位在其焦距(相对于UV辐射源)处的如图1B所示的会聚透镜18和/或如图1A所示的准直透镜15,或任何其它合适的透镜或透镜的组合,以基于预期的速度曲线来将辐射聚焦到流体流动通道301、401的内孔中,从而实现所需的辐射注量率曲线。在图7和8所示的实施方式中,流体流动通道301、401的内孔内的辐射315、415被显示为半透明的,从而可以观察流体流动通道301、401的内孔中的流体的纵向方向速度曲线312、412。

[0089] 图7的实施方式中的速度曲线312与图8的实施方式中的速度曲线412不同。在图7中,与图8的实施方式的速度变化419相比,沿流体流动通道301的横截面的速度变化319更大(即,图7的实施方式的在流体流动通道301的内孔的横截面的中心处的最高速度和与流体流动通道301的内孔的横截面的中心间隔开的位置处的速度之间的流体速度的变化大于图8的实施方式的在流体流动通道401的内孔的横截面的中心处的最高速度和与流体流动通道401的内孔的横截面的中心间隔开的位置处的速度之间的流体速度的变化)。因此,图7的实施方式的聚焦元件307和/或聚焦透镜304被配置(例如具有被选择、定位、成形和/或由具有合适折射率的材料制成的透镜)成以如下方式聚焦辐射:相对于沿图8的实施方式的通道401的内孔的横截面的注量率变化提供明显更高的沿图7的实施方式的通道301的内孔的横截面的注量率变化(即,图7的实施方式的在流体流动通道301的内孔的横截面的中心和与流体流动通道301的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化大于图8的实施方式的在流体流动通道401的内孔的横截面的中心和与流体流动通道401的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化)。图7的实施方式中的UV辐射在内孔的横截面的中心可以比在与内孔的横截面的中心间隔开的位置处更明显地聚焦。

[0090] 相比之下,在图8的实施方式中,速度仅在流体流动通道401的内孔的横截面的中心处适度地较高。因此,图8的实施方式的聚焦元件407和/或透镜404被配置(例如具有被选

择、定位、成形和/或由具有合适折射率的材料制成的透镜)成相对于图7的实施方式的注量率变化提供适度地较高的沿图8的实施方式的内孔401的横截面的注量率变化(即,图8的实施方式的在流体流动通道401的内孔的横截面的中心和与流体流动通道401的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化小于图7的实施方式的在流体流动通道301的内孔的横截面的中心和与流体流动通道301的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化)。UV辐射在图8的实施方式的内孔401的横截面的中心可以比在与内孔401的横截面的中心间隔开的位置处适度地更多地聚焦。

[0091] 图9是包括以与图7和8所示的UV-LED反应器300、400类似的方式照射具有流体入口533的纵向延伸的流动通道501的多个LED-透镜组件508的UV-LED反应器500的顶部透视图。在图9的实施方式中,每个LED-透镜组件508可具有与上文关于图7和8的实施方式描述的LED-透镜组件308、408类似的构件,包括辐射聚焦元件,其基于预期的速度曲线而将辐射聚焦到流体流动通道501的内孔中,以便在流体流动通道501的内孔的横截面的中心(在此流体具有较高的相对纵向方向速度)处提供较高的相对辐射注量率并在与流体流动通道501的内孔的横截面的中心间隔开的位置(在此流体具有较低的相对纵向方向速度)处提供较低的辐射注量率。为了清楚说明,未在图9中具体示出每个LED-透镜组件508的构件。也未示出可位于LED-透镜组件508与流体流动通道501之间的透UV窗。对于合适地配置的辐射聚焦元件(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜),沿纵向延伸的流动通道501的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道501的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道501的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道501的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。在图9的实施方式中,多个流体出口534位于流体流动通道501的一端处,被照射的流体在此处离开。图9所示的多出口配置可有利于沿流体流动通道501的横截面的相对更均匀的速度分布,特别是对于具有横截面相对较大的内孔的流体流动通道而言。

[0092] 图10是包括照射具有流体入口633的纵向延伸的流体流动通道601的多个LED-透镜组件608(各自包括与UV-LED组件308、408类似的构件)的UV-LED反应器600的顶部透视图。反应器600类似于图9的UV-LED反应器500。然而,UV-LED反应器600与UV-LED反应器500的不同之处在于UV-LED反应器600还包括在入口633附近的流量分配器674。流量分配器674可以包括一个或多个流量限制元件,例如静态混合器、涡流发生器、挡板和/或类似物。流量分配器674可以附加地或替代地包含穿孔(例如多孔)材料,其中穿孔(例如孔隙率)贯穿分配器674的本体均匀或不均匀地分布。在需要更均匀的速度分布的情况下,与流体流动通道601的内孔的横截面相比,流量分配器674的孔隙率可以提供流体流动通道601的横截面内更均匀的流体速度分布,并且消除由具有小横截面的入口633产生的射流的影响。流量分配器674可以部署在流体流动通道601中以限制纵向延伸的流体流动通道601的内孔中的流体流动,并且可被配置(例如,通过合适的形状、尺寸、密度、孔隙率和/或类似物)成实现所需的曲线和/或用于提供与沿纵向延伸的流体流动通道601的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在通道601的纵向尺寸上)辐射注量率曲线相关的沿纵向延伸的流体流动通道601的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道601的纵向尺寸上)纵向方向速度曲线。

[0093] 图11和12示出了包括用于照射每个纵向延伸的流体流动通道的多个UV-LED 706、806(即LED与流体流动通道的多对一比率)的根据实施方式的UV-LED反应器700、800。在图11和12的实施方式中,多个LED 706、806共享辐射聚焦元件707、807(即多对一的LED与辐射聚焦元件的比率)或其一部分。在图11和12所示的实施方式中,每个聚焦元件707、807被示出为包括单个透镜704、804。这不是必要的。在一些实施方式中,每个聚焦元件707、807可以包括多个透镜704、804。在一些这样的实施方式中,多个LED 706、806可共享辐射聚焦元件707、807的一部分(例如辐射聚焦元件707、807内的一个或多个透镜704、804)。UV-LED反应器700、800在某些方面类似于图7和8的UV-LED反应器300、400。例如,类似于UV-LED反应器300、400,UV-LED反应器700、800包括多个UV-LED 706、806。然而,UV-LED反应器700、800与UV-LED反应器300、400的不同之处在于,UV-LED反应器700、800包括共享辐射聚焦元件707、807(即多对一的LED与辐射聚焦元件的比率)或其一部分的多个LED 706、806。辐射聚焦元件707、807聚焦由UV-LED 706、806发射的UV辐射,以照射每个UV-LED反应器700、800的纵向延伸的流体流动通道701、801中的流体。在图7和8所示的实施方式中,来自多个UV-LED 706、806的辐射穿过共享的聚焦元件707、807(或其一部分)。在聚焦元件707、807与流体流动通道701、801之间可设置有透UV窗718、818,例如石英窗。

[0094] 在UV-LED反应器700、800中,流体(未示出)正在以具有沿流体流动通道701、801的内孔的横截面的对应变化719、819的纵向方向速度曲线712、812移动。从UV-LED 706、806发射的辐射715、815穿过聚焦元件707、807,以撞击在正于纵向延伸的流动通道701、801的内孔中沿纵向方向行进的流体上。聚焦元件707、807的透镜704、804可以被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理,以在流体流动通道701、801的内孔的横截面的中心——在此流体具有较高的相对纵向方向速度——处提供较高的相对辐射注量率。相反,聚焦元件707、807和/或聚焦透镜704、804可以被配置(例如,被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成)成在与流体流动通道701、801的内孔的横截面的中心间隔开的位置处提供较低的相对辐射注量率。利用合适地配置的辐射聚焦元件707、807(例如具有被选择、定位、成形、由具有合适折射率的材料制成和/或经类似手段处理的透镜704、804),沿纵向延伸的流动通道701、801的内孔的横截面(或其一部分)的平均(在纵向延伸的流体流动通道701、801的纵向尺寸上)辐射注量率曲线可以与纵向延伸的流动通道701、801的内孔的横截面(或其一部分)内的平均(在纵向延伸的流体流动通道701、801的纵向尺寸上)纵向方向流体速度曲线正相关或在一些实施方式中与其大致成比例。因此,当流体离开反应器(或离开流体流动通道701、801)时,流体的每种组分可以接收类似或相当的UV辐射剂量。

[0095] 在实践中,这可以通过将聚焦元件707、807构造成包括一个或多个透镜704、804来实现,所述透镜以实现上述特征的方式将辐射聚焦到流体流动通道701、801的内孔中。在一些实施方式中,此类聚焦透镜可以包括:不必定位在其焦距(相对于UV辐射源)处的如图1B所示的会聚透镜18和/或如图1A所示的准直透镜15,或任何其它合适的透镜或透镜的组合,以基于预期的速度曲线来将辐射聚焦到流体流动通道701、801的内孔中,从而实现所需的辐射注量率曲线。在图11和12所示的实施方式中,流体流动通道701、801的内孔内的辐射715、815被显示为半透明的,从而可以观察流体流动通道701、801的内孔中的流体的纵向方向速度曲线712、812。

[0096] 图11的实施方式中的速度曲线712与图12的实施方式中的速度曲线812不同。在图11中,与图12的实施方式的速度变化819相比,沿流体流动通道701的横截面的速度变化719更大(即,图11的实施方式的在流体流动通道701的内孔的横截面的中心处的最高速度和与流体流动通道701的内孔的横截面的中心间隔开的位置处的速度之间的流体速度的变化大于图12的实施方式的在流体流动通道801的内孔的横截面的中心处的最高速度和与流体流动通道801的内孔的横截面的中心间隔开的位置处的速度之间的流体速度的变化)。因此,图11的实施方式的聚焦元件707和/或聚焦透镜704被配置(例如具有被选择、定位、成形和/或由具有合适折射率的材料制成的透镜704)成以如下方式聚焦辐射:相对于沿图12的实施方式的通道801的内孔的横截面的注量率变化提供明显更高的沿图11的实施方式的通道701的内孔的横截面的注量率变化(即,图11的实施方式的在流体流动通道701的内孔的横截面的中心和与流体流动通道701的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化大于图12的实施方式的在流体流动通道801的内孔的横截面的中心和与流体流动通道801的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化)。图11的实施方式中的UV辐射在内孔的横截面的中心可以比在与内孔的横截面的中心间隔开的位置处更明显地聚焦。

[0097] 相比之下,在图12的实施方式中,速度仅在流体流动通道801的内孔的横截面的中心处适度地较高。因此,图12的实施方式的聚焦元件807和/或透镜804被配置(例如具有被选择、定位、成形和/或由具有合适折射率的材料制成的透镜)成相对于图11的实施方式的注量率变化提供适度地较高的沿图12的实施方式的内孔801的横截面的注量率变化(即,图12的实施方式的在流体流动通道801的内孔的横截面的中心和与流体流动通道801的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化小于图11的实施方式的在流体流动通道701的内孔的横截面的中心和与流体流动通道701的内孔的横截面的中心间隔开的位置之间的辐射注量率的变化)。UV辐射在图12的实施方式的内孔801的横截面的中心可以比在与内孔801的横截面的中心间隔开的位置处适度地更多地聚焦。

[0098] 本文描述的反应器和使用反应器的方法可以提供高效和紧凑的UV-LED反应器,其可应用于任何UV活化的光反应或光催化反应。这些应用之一是基于UV的水处理,特别是通过微生物的UV灭活和化学污染物的基于UV的降解进行的水净化或杀菌。例如,一些实施方式可特别适合于在使用点或进入点水净化应用中处理低至中等流速的水,如本文在别处所述,包括以下描述。此外,本文描述的反应器和使用反应器的方法可以基于UV-LED辐射图案和流场流体动力学性能的组合进行优化,以相比于已有的UV-LED反应器提供优良的(或至少相对更一致的)向流体的UV剂量输送。

[0099] 本发明的一些方面提供了一种反应器,其设计成控制沿纵向延伸的流体流动通道的内孔的横截面(或该横截面的一部分)的平均(在纵向延伸的通道的纵向尺寸上)辐射注量率分布和/或平均(在纵向延伸的通道的纵向尺寸上)纵向方向速度分布,使得反应器向行进通过流体流动通道的内孔的全部(或基本上全部)流体元件赋予类似或相当的UV剂量(辐射注量率与停留时间的乘积)。如所讨论的,可控制这些参数(沿横截面(或其一部分)的平均辐射注量率分布和/或沿横截面(或其一部分)的平均纵向方向流体速度)中的一个或两个,以实现与沿通道的内孔的横截面(或其一部分)的平均速度曲线正相关且在一些实施方式中大致成比例的平均辐射注量率。为简洁起见,这些特征(如本文在别处更具体地描

述)可称为速度-注量率匹配。在一些实施方式中,当流体越过纵向延伸的流体流动通道的纵向尺寸时,这种速度-注量率匹配对所有流体元件可实现类似或相当的UV剂量。应当理解,在纵向延伸的流体流动管道的内孔中行进的事体的横截面纵向方向速度曲线取决于流体的雷诺数——其为流体特性的材料特征——以及流体流动通道的内孔的特性和流体速度。还应当理解,任何流体元件的纵向方向流体流动速度不必是恒定的,而是可以随着流体沿流动通道的纵向尺寸移动而改变(例如,流体元件在其移动通过流动通道期间可以从横截面内的较高速度中心位置移动到远离横截面的中心的较低速度位置,或者相反)。

[0100] 虽然本发明的前述书面描述使普通技术人员能够制作和使用目前被认为是其最佳模式的内容,但普通技术人员应当理解和领会本文的具体实施方式、方法和实例的变化、组合和等同物的存在。因此,本发明不应当受上述实施方式、方法和实例的限制。

[0101] 以下描述可以结合上述辐射剂量控制方法和设备(参考图1至12)的基于UV-LED的光反应器的更多示例性实施方式。

[0102] 例如,以下参考图13至18描述根据示例性实施方式的UV-LED反应器的各种通道配置。在这些实施方式中,UV-LED反应器可以结合辐射剂量控制方法和设备(例如如本文在别处描述的辐射聚焦元件和/或流量限制元件),即使这些辐射聚焦元件和/或流量限制元件在附图中未被具体地示出或描述。

[0103] 图13A至13E示出了根据示例性实施方式的单通道UV-LED反应器配置的侧视图。一般而言,这些配置可以适用于单通道和多通道UV-LED反应器两者。入口和出口取向及其流体流动方向对于多通道反应器而言与对于单通道反应器的那些不同。直黑色箭头表示反应器以及反应器的入口和出口两者中的主流动方向。

[0104] 图13A是包括壳体61、UV-LED 62和透UV窗63的UV-LED反应器70A的侧视图。该单通道反应器仅从流动通道的一端被照射,从而提供出口方向的灵活性。化学试剂(未示出)可以连同流体流一起添加至反应器,以引起所需的光反应。在图13A的实施方式中,可以使用任何本文描述的技术来实现速度-注量率匹配。

[0105] 图13B是包括壳体64、两个或更多个UV-LED 64和透UV窗66的UV-LED反应器70B的侧视图。UV-LED反应器70B从流动通道的两端被照射(通过定位在每一端的至少一个UV-LED 65),从而与仅从一端被照射的图7A的配置相比提供更高的辐射注量。每个UV-LED 65可发射特定波长(其可以相同或不同)的UV辐射。当各UV-LED 65的波长不同时,图13B的实施方式可以提供照射流体流的不同波长的组合并且这些波长中的一个(或两个)可表现出速度-注量率匹配。在各UV-LED 65的波长相同的情况下,来自图13B中的UV-LED 65的组合的辐射可以表现出速度-注量率匹配。

[0106] 图13C是包括壳体71、UV-LED 72、透UV窗73和静态混合器74或其它这种限制流体流动的元件的UV-LED反应器70C的侧视图。弯曲的黑色箭头表示流体在经过静态混合器74之后的混合。应用静态混合器74以促进混合和产生潜在的涡流,从而提高UV-LED反应器的流体动力学性能。混合可以导致纵向方向流体速度的相对更均匀的分布,即使其它方向上的速度分量可能相对较不均匀。提供纵向方向流体速度的相对更均匀的分布可以使得更容易实现对应的注量率分布并且最终更容易实现速度-注量率匹配。

[0107] 图13D是包括壳体81、一个或多个UV-LED 82、透UV窗83和固定在载体结构84上的光催化剂的UV-LED反应器70D的侧视图。光催化剂由来自UV-LED的UV辐射活化以引发UV-

LED反应器中的光催化反应。在图13D的实施方式中,可以使用任何本文描述的技术来实现速度-注量率匹配。

[0108] 图13E是包括壳体85、UV-LED 86、透UV窗87和固定在穿孔的载体结构88上的光催化剂的UV-LED反应器70E的侧视图。光催化剂由来自UV-LED的UV辐射活化以引发光催化反应。其中光催化剂设置在反应器通道横截面中的这种配置可以向光催化剂提供高辐射通量。在图13E的实施方式中,可以使用任何本文描述的技术来实现速度-注量率匹配。

[0109] 图14A和14B是包括纵向延伸的流体流动通道的叠加/堆叠的根据示例性实施方式的两个UV-LED反应器80和90的侧视图(其中虚线示出第三维度的方向)。图14A示出了包括壳体91、各自具有矩形横截面的纵向延伸的流体流动通道92的叠加和多个UV LED 93的UV-LED反应器80的侧视图。图14B示出了包括壳体95、各自具有三角形横截面的纵向延伸的流体流动通道96的叠加和多个UV-LED 97的UV-LED反应器90的侧视图。在任一这些实施方式中,流体在它移动通过纵向延伸的流体流动通道的叠加时由UV LED照射。可以使用任何本文描述的技术在图14A和14B的实施方式的各流动通道中实现速度-注量率匹配。这种配置有利于可输送高UV注量(剂量)和/或高产量的UV-LED反应器的制造。流体流动通道的横截面可以是矩形(图14A)、三角形(图14B)或另一种形状。主流体流动方向通过箭头示出。包括透UV窗的UV-LED反应器80、90的其它构件未被示出,以便不使图中的其余构件模糊。

[0110] 图15A至15C示出了根据一个示例性实施方式的UV-LED反应器1110的顶视图(图15A)、侧视图(图15B)和透视图(图15C)。UV-LED反应器1110包括:壳体1119、用于沿纵向方向输送流体(例如水)通过其中的具有通道壁1114的一对相邻的纵向延伸的流体流动通道1113、用于流体进入的入口1111和用于流体离开的出口1112。UV-LED反应器1110还包括:安装在电路板1116上的两个(或更多个)UV-LED 1106、设置在电路板1116与流体流动通道1113之间的诸如石英窗的透UV窗1118、通/断开关1121、和电源端口1122。用于UV-LED的驱动电路、微控制器和其它电子机构(未示出)可以被放置在LED电路板1116与通/断开关1121之间的电子收纳部1123中。不同透镜(未示出)——包括准直透镜、会聚透镜、发散透镜和/或其它透镜(未示出)——可在UV-LED 1106与纵向延伸的流体流动通道1113之间设置在反应器1110中,以将UV-LED辐射图案聚焦到流体流动通道1113中。流体流动通道1113在一端流体连通以便流体从一个通道1113来到相邻通道1113。如示出主流体流动方向的箭头所示,流体从入口1111进入反应器1110,流过第一纵向延伸的流体流动通道1113并在于相邻内部通道1113的端部处转向之后继续通过第二纵向延伸的流体流动通道1113,然后从出口1112离开。流入和流出UV-LED反应器1110的流体经过通道1113,并由来自UV-LED 1106的UV辐射照射。可以使用任何本文描述的技术在图15A-15C的实施方式的各流动通道中实现速度-注量率匹配。

[0111] 图16A至16D示出了根据一个示例性实施方式的UV-LED反应器1120的顶视图(图16A和图16D)、侧视图(图16B)和透视图(图16C)。UV-LED反应器1120包括壳体1139、用于沿纵向方向输送流体(例如水)通过其中的具有通道壁1134的一对相邻的纵向延伸的流体流动通道1133、用于流体进入的入口1131、用于流体离开的出口1132和安装在电路板1136上的UV-LED 1135。准直透镜1137可以在UV-LED 1135与流体流动通道1133之间设置在反应器1120中的框架1144上,以将UV-LED辐射图案聚焦到纵向延伸的流体流动通道1133中。反应器1120还包括设置在保持准直透镜1137的框架1144与流体流动通道1133之间的透UV窗

1138,例如石英窗。反应器1120包括通/断开关1141和电源端口1142。用于UV-LED的驱动电路、微控制器和其它电子机构(未示出)可以被放置在LED电路板1136与通/断开关1141之间的电子收纳部1143中。准直透镜1137将来自UV-LED 1135的UV辐射准直到流体流动通道中。在一些实施方式中,UV-LED 1135可具有集成在LED中的会聚透镜。设置在UV-LED 1135前方的会聚透镜和准直透镜两者的存在可提供更有效的照射流体流的方式。参照图16D,示出了从UV-LED 1135发射并穿过准直透镜1137而变成准直射线的UV射线1145。流入和流出UV-LED反应器1120的流体经过通道1133,并在反应器通道1133中由UV准直射1146照射。这种反应器配置可具有流动通道的圆形横截面。UV射线的主方向通过虚线箭头示出。可以使用任何本文描述的技术在图16A-16D的实施方式的各流动通道中实现速度-注量率匹配。

[0112] 图17A和17B示出了由UV-LED照射并贯穿纵向延伸的流体流动通道的长度设置的用于UV-LED反应器的两种配置的部分概略透视图。为了更清楚地图示本文说明的概念,这些图中仅示出了UV-LED反应器的UV-LED、UV-LED板和光催化剂结构。图17A示出了包括UV-LED 1152安装在其上的一系列穿孔板1153的UV-LED反应器1130,其中纵向延伸的流体流动通道1151中的流体流(未示出)由UV-LED 1152照射。图17B示出了包括UV-LED 1155安装在其上的一系列穿孔板1156以及一系列光催化剂结构1157的UV-LED反应器1140,其中纵向延伸的流体流动通道1154中的流体流(未示出)和光催化剂结构由UV-LED 1155照射。箭头示出了流体流在它移动经过UV-LED和光催化剂结构时的总体方向。流体流经过LED穿孔板和光催化剂结构。此配置可引起流体中的光反应和光催化反应。在图17A和17B的实施方式中,可以使用任何本文描述的技术来实现速度-注量率匹配。

[0113] 图18A和18B示出了由UV-LED照射并贯穿流体流动通道的长度设置的用于UV-LED反应器的两种配置的部分概略透视图。为了更清楚地图示本文说明的概念,这些图中仅示出了UV-LED反应器的UV-LED、UV-LED板和光催化剂部件。图18A示出了包括UV-LED 1162安装在其上的一系列实心板1163的UV-LED反应器1160,其中纵向延伸的流体流动通道1161中的流体流(未示出)由UV-LED 1162照射。图18B示出了包括UV-LED 1165安装在其上的一系列实心板1166以及一系列光催化剂结构1167的UV-LED反应器1170,其中纵向延伸的流体流动通道1164中的流体流(未示出)和光催化剂结构由UV-LED 1165照射。箭头示出了移动经过UV-LED 1162、1165和光催化剂结构1167的流体流的总体方向。如弯曲的箭头所示,流体流到达LED板的开放侧(通道的未被UV-LED板占据的部分)并经过光催化剂结构。此配置可引起流体中的光反应和光催化反应。在图18A和18B的实施方式中,可以使用任何本文描述的技术来实现速度-注量率匹配。

[0114] 在图17和图18中呈现的UV-LED反应器配置中,流体流和光催化剂结构可以由UV-LED从一侧或两侧照射。因此,UV-LED可以被安装在LED板的任一侧或两侧。此外,在图17和18中呈现的任意配置中,静态混合器(未示出)可配置在反应器中以更改流体流的流体动力学性能。

[0115] 本文描述的纵向延伸的流体流动通道具有可呈任何合适形状的横截面,包括但不限于圆、半圆、正方形、矩形、三角形、梯形、六边形等。这些横截面可以通过在给出某些流体流动状态和UV-LED辐射图案的情况下提高反应器的流体动力学性能和/或辐射分布来提高反应器性能。例如,具有圆形横截面的流体流动通道可以为流体提供针对UV-LED准直射的最佳的辐射传递。

[0116] 本文描述的技术的实施方式涉及提供高效且紧凑的UV-LED反应器,其适用于流体中的一个范围的UV活化的光反应或光催化反应。例如,如本文所述,这些应用之一是通过微生物的UV灭活和基于UV的化学污染物降解的水净化。

[0117] UV-LED反应器的特定应用包括例如在使用点应用中加工和处理低至中等流速的水。此外,由于其紧凑的配置和高效率,根据本文描述的实施方式的UV-LED反应器可以结合在器具(例如冰箱、冷冻器、水冷却器、咖啡机、饮水机、制冰机等)、健康护理或医疗设备或设施、牙科设备和任何其它需要使用清洁水的设备中。UV-LED反应器可以结合到装置中或作为附加装置应用到已有装置中。例如,UV-LED反应器可以定位在穿过水管的某处,使得UV-LED反应器处理用于装置中(例如经过装置的水管中)的水。在希望流体在经过管道时被照射/处理的情况下,或在希望防止在管道内形成潜在的微生物生物膜的情况下,或在希望流在被使用之前在管道的端部处被处理的情况下,这可能是特别有意义的。UV-LED反应器可以连同一种或多种其它形式的水净化方法(例如过滤)一起集成在该装置中。接下来参考图19至21描述UV-LED反应器的示例性使用点流体处理应用。

[0118] 图19示出了水处理系统200,该水处理系统包括入口管道201、出口管道202和水龙头205,并且结合了使用UV-LED 204操作以处理水的UV-LED反应器203。水经由入口201进入反应器203,经过UV-LED反应器203,并由从UV-LED 204发射的UV辐射照射,然后从出口管道202离开并来到水龙头205以进行普通使用。大致流体流动方向通过箭头示出。

[0119] 在一些实施方式中,UV-LED反应器可以结合在分配或使用供人消耗的水(或基于水的流体)的器具中:例如冷冻机、水冷却器、咖啡机、自动售货机等。用于供人消耗的水需要高度净化。例如,冰箱、冷冻机和水冷却器的主供水可能包含有害的病原体。这在发展中国家和偏远地区尤其令人担忧,其中在水网络中分配水之前可能无法适当处理水。此外,由于其特定结构,冰箱/冷冻水管可能易于产生生物膜和微生物污染。聚合物管子通常将水从主供水转移到冰箱中,以用于室内冰和饮用水。细菌生物膜可以在水管中形成,特别是当不使用时(例如,生物膜可以在8小时内形成)。间歇用水模式导致整个水柱当天长时间停滞在水管内。供水管对表面上的细菌定植和生物膜形成的敏感性是公认的问题。

[0120] 反应器的UV-LED可以响应于水开始和停止流动而自动开启和关闭。传感器可用于检测流体的流量并向反应器发送信号以开启或关闭UV-LED。UV-LED反应器可减少离开水管的水(用于消耗)中的微生物污染并降低感染风险。这通过UV-LED的操作状态来促进。例如,UV-LED可以在一定温度范围内工作,并且可以以高频率开启和关闭,这对于冰箱和水冷却器应用而言尤其重要。

[0121] 分配或使用供人消耗的水或基于水的流体(例如咖啡或其它饮料)的任何器具可以结合根据本文描述的实施方式的UV-LED反应器来处理水。例如,图20示出了包括本体211和用于将水输送到水/冰分配器214的管道213的冰箱210。冰箱210结合了UV-LED反应器212。在管道213中流动的水经过UV-LED反应器212,它在进入水/冰分配器214之前在此被UV辐射照射。大致流体流动方向通过箭头示出。类似地,可以受益于结合UV-LED反应器的其它器具包括但不限于冷冻机、制冰机、冷冻饮料机、水冷却器、咖啡机、自动售货机等。

[0122] 根据本文描述的实施方式的UV-LED反应器的其它应用包括处理用于医疗保健设备或牙科相关设备或医疗设备或设施中的水或其它流体,或由所述设备或设施用于操作、清洁或需要清洁水的另一目的。特别地,许多医疗保健应用要求水质标准比饮用水更高。本

文描述的UV-LED反应器的效率和紧凑性可以使它们比用于在医疗保健设备中实施的传统UV灯反应器更具吸引力。

[0123] 例如,图21示出了血液透析机,其包括本体221和包含UV-LED反应器222的管道223。在管道223中流动的水在于血液透析机中使用之前经过UV-LED反应器222以进行处理。类似地,可以从结合UV-LED反应器中受益的其它器具包括但不限于结肠水疗设备和分配用于清洁或操作的水的牙科设备等。

[0124] 关于在牙科设备中的应用,口腔综合治疗台水路(DUWL)的调查表明生物膜形成是一个问题,并且在DUWL中已经鉴定的绝大多数细菌普遍存在。虽然这种细菌在家用分配系统中可能仅少量存在,但它们可以作为生物膜活跃在口腔综合治疗台中的窄孔水管的内腔表面上。来自污染的DUWL的微生物通过由工作单元手柄产生的气溶胶和飞溅传播。各种研究强调需要减少DUWL中的微生物污染。

[0125] 在一些实施方式中,UV-LED反应器可以结合在口腔综合治疗台中以处理在该治疗台中使用的水。UV-LED反应器可以集成在口腔综合治疗台(例如牙科椅)中,或者UV-LED反应器可以放置在保持水雾的牙科椅的托盘(辅助托盘)内,或喷水手柄内,或通过水管的其它地方,以在使用前处理水。包括即时开启和关闭的特征可以被包含于集成在口腔综合治疗台中的UV-LED反应器中。

[0126] 可以使用任何本文描述的技术在图19-21的任何实施方式的反应器中实现速度-注量率匹配。

[0127] 用于本文描述的UV-LED反应器的实施方式的本体或壳体可以由铝、不锈钢或任何其它足够刚硬和坚固的材料制成,例如金属、合金、高强度塑料等。在一些实施方式中,例如,类似于管道的单通道反应器也可以由柔性材料如抗紫外线PVC等制成。此外,UV-LED反应器的各种构件可以由不同材料制成。此外,光催化剂结构可以在反应器中用于UV活化的光催化反应。光催化剂可以通过固定在流体经过其中的多孔衬底上和/或通过固定在流体经过其上的实心衬底上而结合在反应器中。可以应用静态混合器或其它形式的流动调节器来改变反应器流体动力学性能。此外,可以使用不同设计概念的组合。例如,静态混合器可供光催化剂使用。

[0128] 虽然本文描述的实施方式被呈现为具有特定特征和流体流动通道配置或透镜配置等,但应理解,本文描述的特征或配置的任何其它合适的组合可存在于UV-LED反应器中。

[0129] 此外,UV-LED反应器可以结合不同峰值波长的UV-LED,以产生协同效应,从而提高光反应效率。

[0130] 各种实施方式的流动通道和UV-LED阵列可以以流暴露于所需数量的LED的方式布置。该设计可以是单个流动通道、一系列并列的流动通道或多个流动通道的叠加。可以通过调整流速和/或调节UV-LED功率和/或开/关多个UV-LED来控制传递到流体的总UV剂量。该设计使得能够制造薄的平面UV-LED反应器。例如,在一些实施方式中,就几何形状和尺寸而言,UV-LED反应器可以近似为手机的尺寸,具有用于流体的入口端口和出口端口。

[0131] 通道的内壁可以由具有高UV反射率的材料制成或涂覆,以促进辐射转移到流体并有助于实现本文描述的速度-注量率匹配。合适的反射材料举例而言可以包括铝、聚四氟乙烯(PTFE)、石英和/或类似物。两个相邻的流体流动通道可以在一端处连接,以使流体从一个通道来到另一个通道(流体经历多次通过反应器)。包括准直透镜、发散透镜、会聚透镜和

其它透镜的不同透镜可以安装在UV-LED反应器中以调整UV-LED辐射图案。透镜可以被配置成提供速度-注量率匹配,如本文在别处所述。

[0132] 在一些实施方式中,反应器的存在很小或不存在辐射注量率的部分可被堵塞(例如填充),使得流体不在这些区域中流动。这(有效地成形流体流动通道)可以有助于防止部分流体由于在这些区域中花费一部分停留时间而接收低剂量。例如,对于没有(或有很小)注量率的区域,这可以在图2C的实施方式中完成。

[0133] 本文描述的许多实施方式涉及流体流动管道的内孔的横截面或其一部分。在一些实施方式中,除非上下文另外指出,否则对流体流动通道的内孔的横截面或对这种横截面的一部分的讨论应理解为意指该横截面的结合了流体流动通道的内孔的总横截面的表面积超过50%的部分。在一些实施方式中,除非上下文另外指出,否则对流体流动通道的内孔的横截面或对这种横截面的一部分的讨论应理解为意指该横截面的结合了流体流动通道的内孔的总横截面的表面积超过75%的部分。在一些实施方式中,除非上下文另外指出,否则对流体流动通道的内孔的横截面或对这种横截面的一部分的讨论应理解为意指该横截面的结合了流体流动通道的内孔的总横截面的表面积超过85%的部分。在一些实施方式中,除非上下文另外指出,否则对流体流动通道的内孔的横截面或对这种横截面的一部分的讨论应理解为意指该横截面的结合了流体流动通道的内孔的总横截面的表面积超过95%的部分。

[0134] 本文描述的许多实施方式包括聚焦元件,其被配置(例如,通过合适的透镜选择、透镜形状、透镜位置和/或特定透镜的折射率)成聚焦来自一个或多个UV-LED的辐射以使得沿纵向延伸的流动通道的内孔的横截面的辐射注量率曲线在于纵向延伸的流动通道的长度上平均时与纵向流动的流体在流动通道的内孔的横截面(或其一部分)上的横截面速度曲线大致成比例。在一些这样的实施方式中,用语“大致成比例”可意味着沿流动通道的内孔的横截面的辐射注量率曲线在于纵向延伸的流动通道的长度上平均时在横截面(或其一部分)上的变化小于50%的比例常数与纵向流动的流体在流动通道的内孔的横截面(或其一部分)上的横截面速度曲线成比例。在一些实施方式中,当在纵向延伸的流动通道的长度上平均时,该比例常数在横截面(或其一部分)上的变化小于25%。在一些实施方式中,当在纵向延伸的流动通道的长度上平均时,该比例常数在横截面(或其一部分)上的变化小于15%。在一些实施方式中,当在纵向延伸的流动通道的长度上平均时,该比例常数在横截面(或其一部分)上的变化小于10%。

[0135] 虽然上面已经讨论了许多示例性方面和实施方式,但是本领域技术人员将认识到其某些修改、置换、增加和子组合。因此,以下所附权利要求和在下文中引入的权利要求的范围不应受在实例中阐述的实施方式的限制,而应被给予与整个说明书一致的最宽泛的解释。

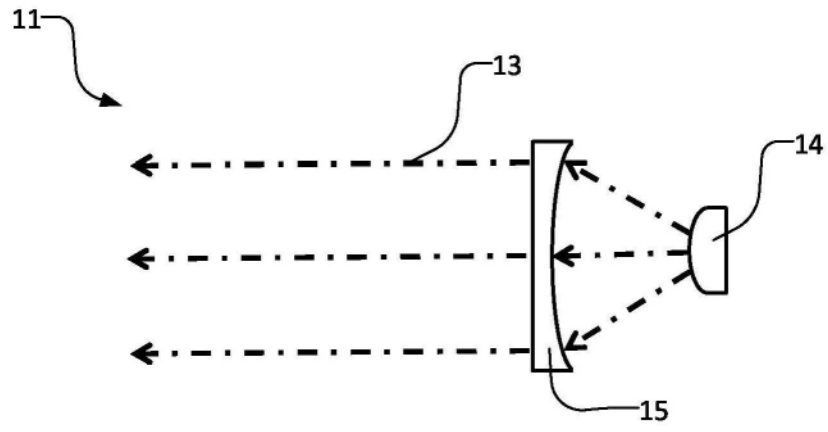


图1A

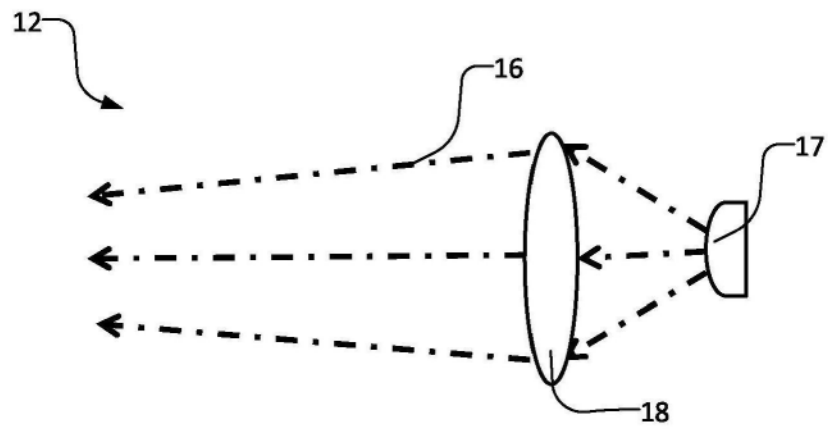


图1B

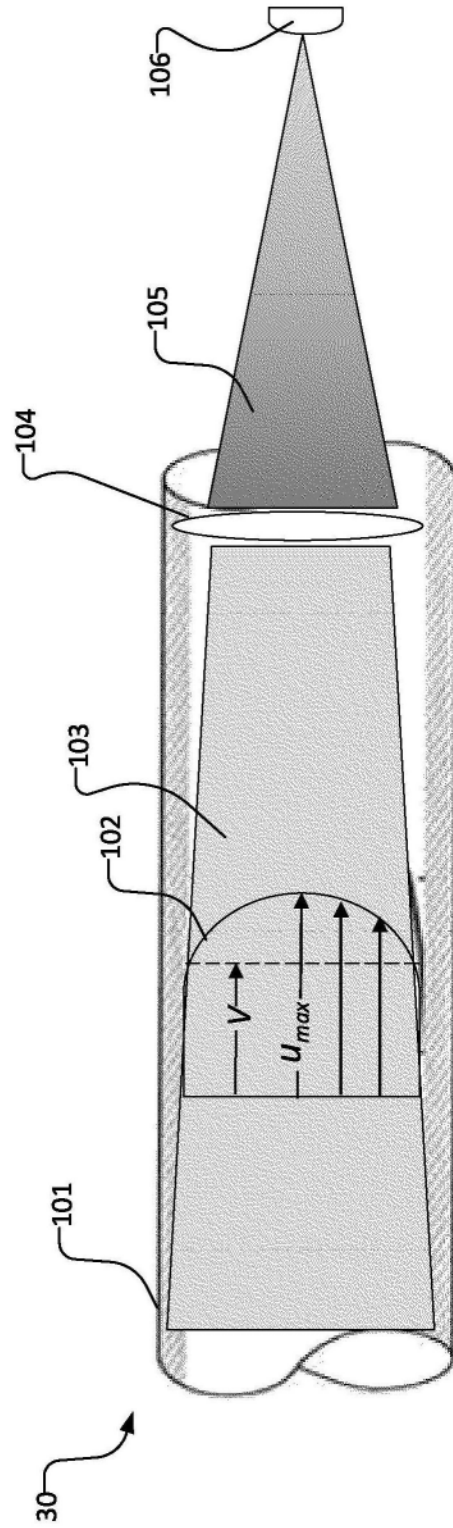


图2A

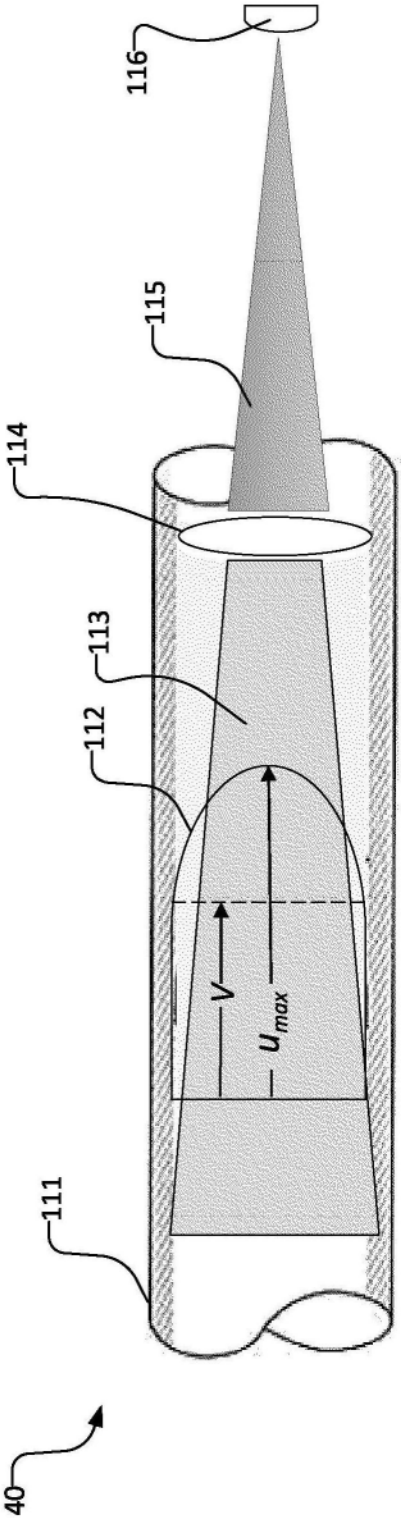


图2B

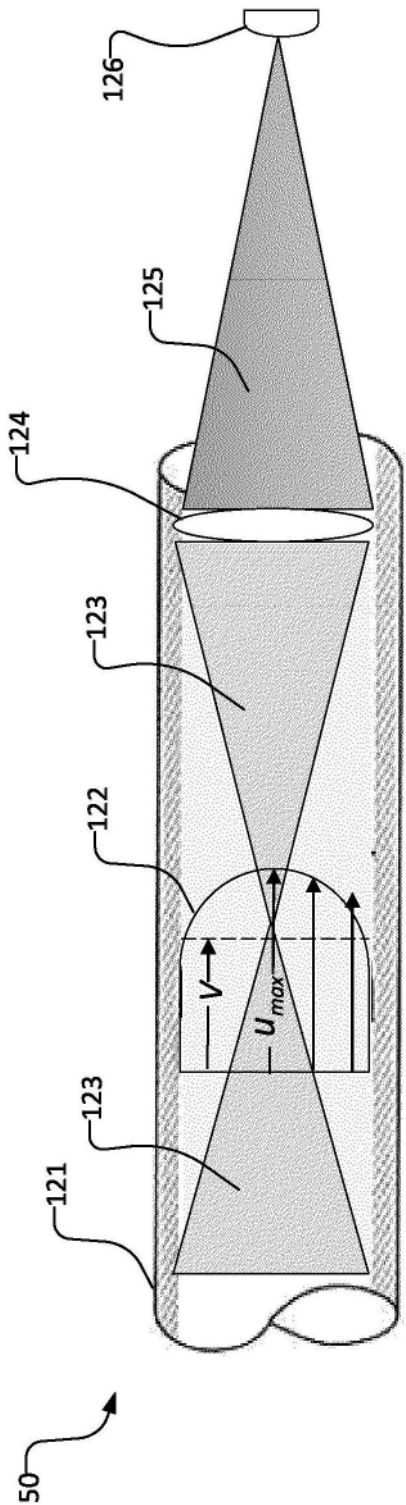


图2C

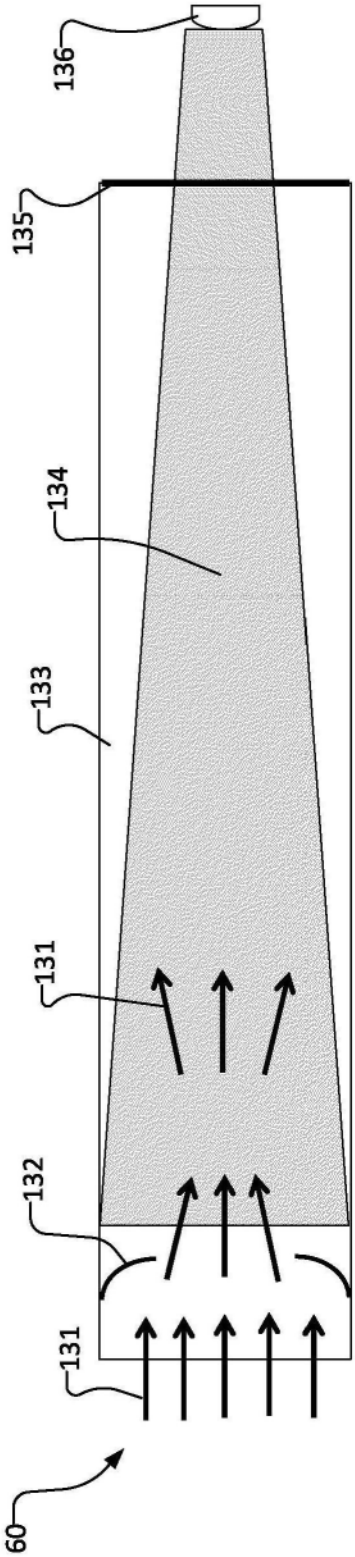


图3

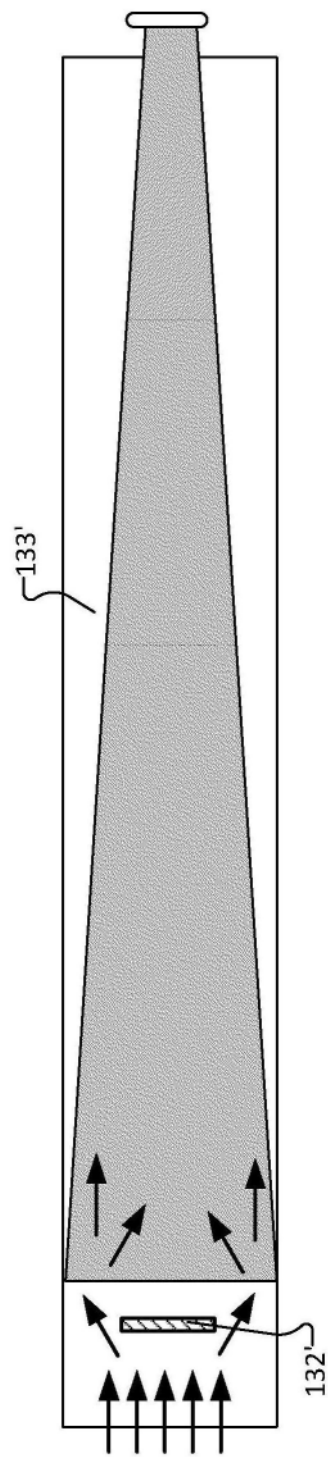


图3A

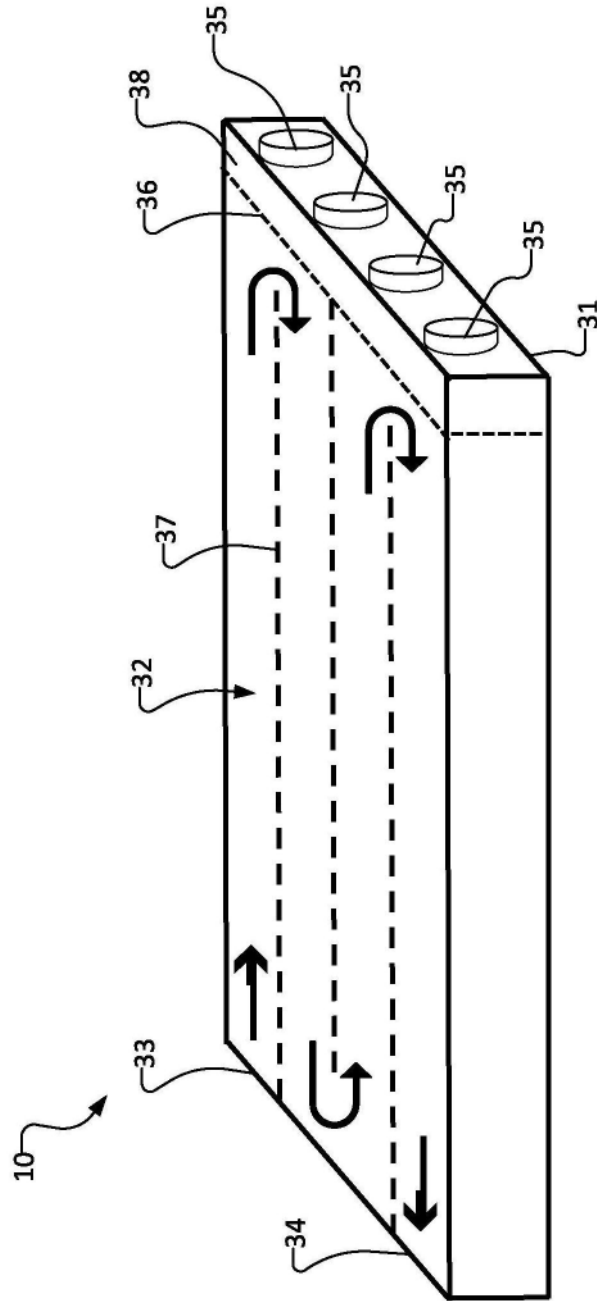


图4

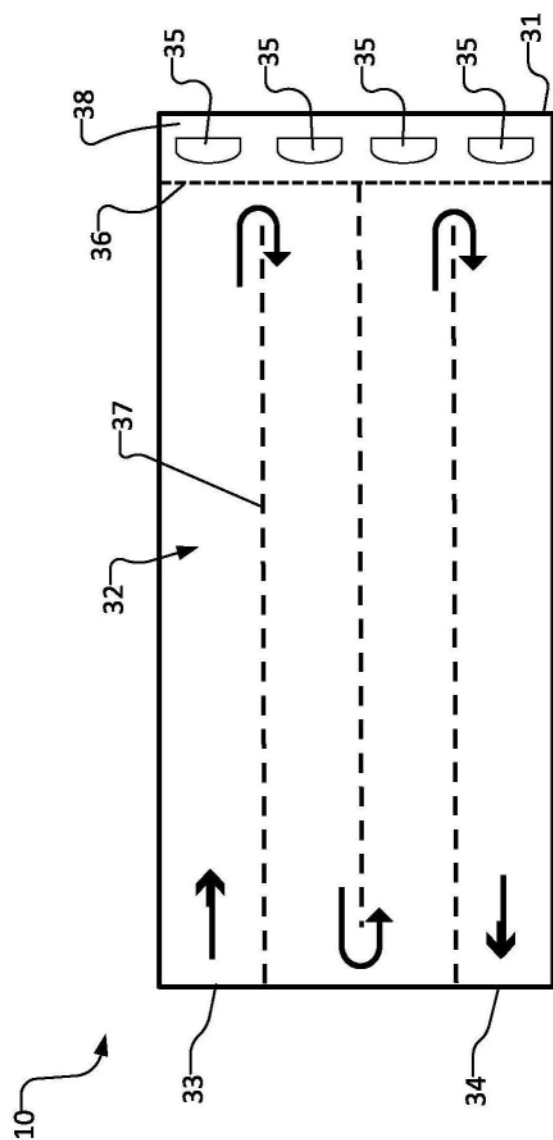


图5A

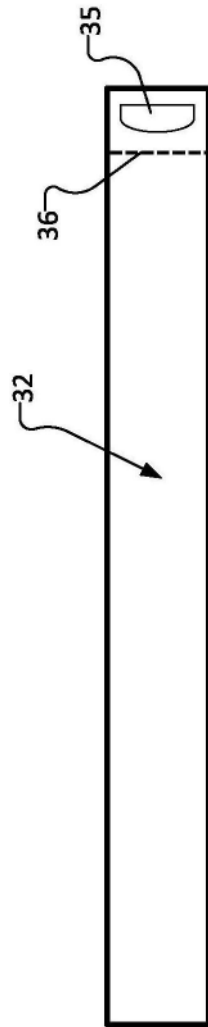


图5B

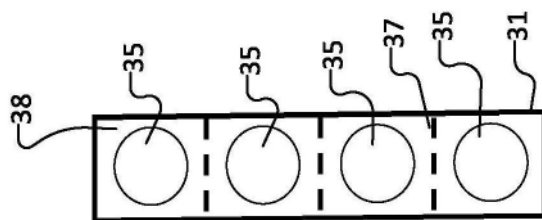


图5C

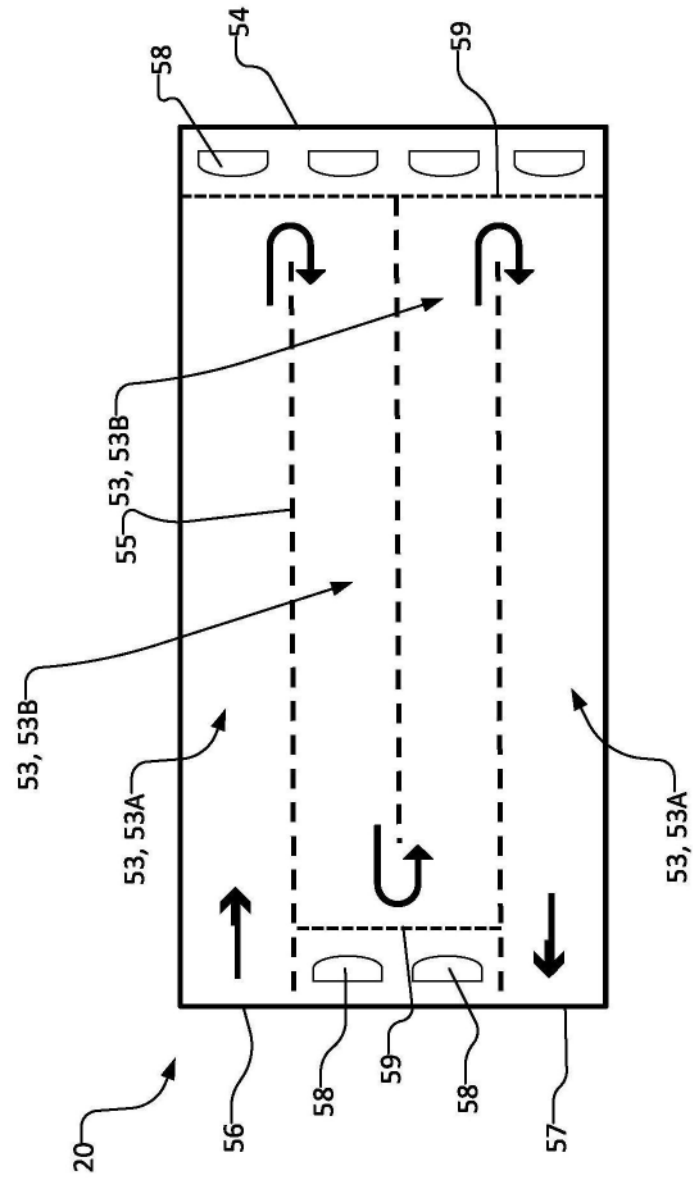


图6

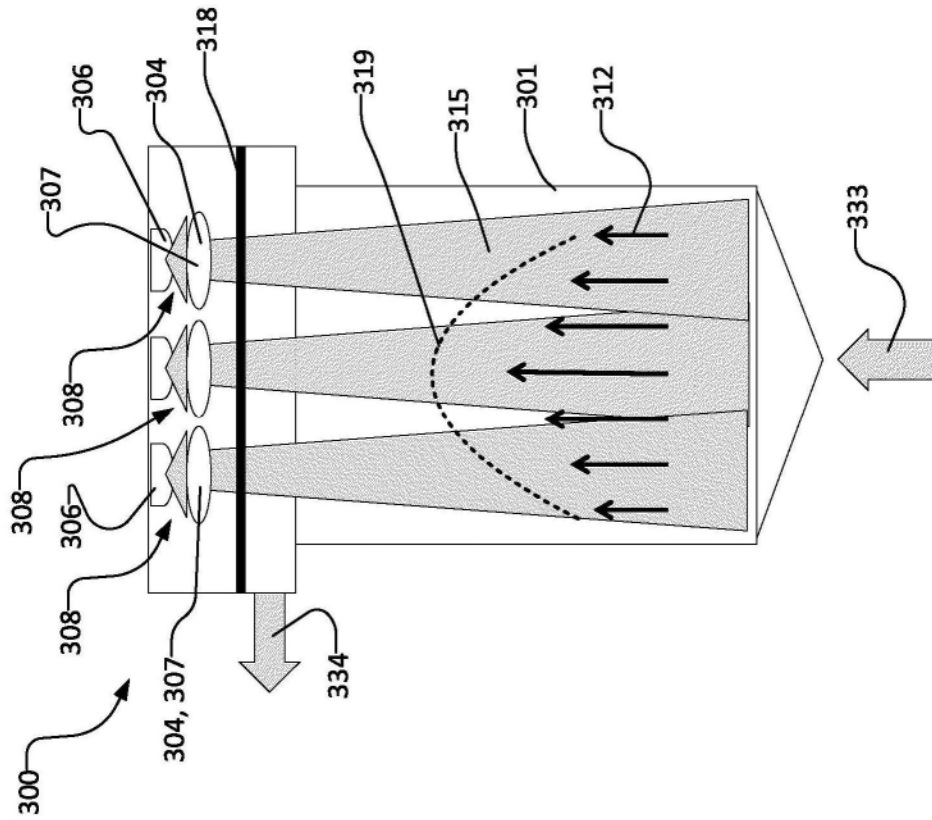


图7

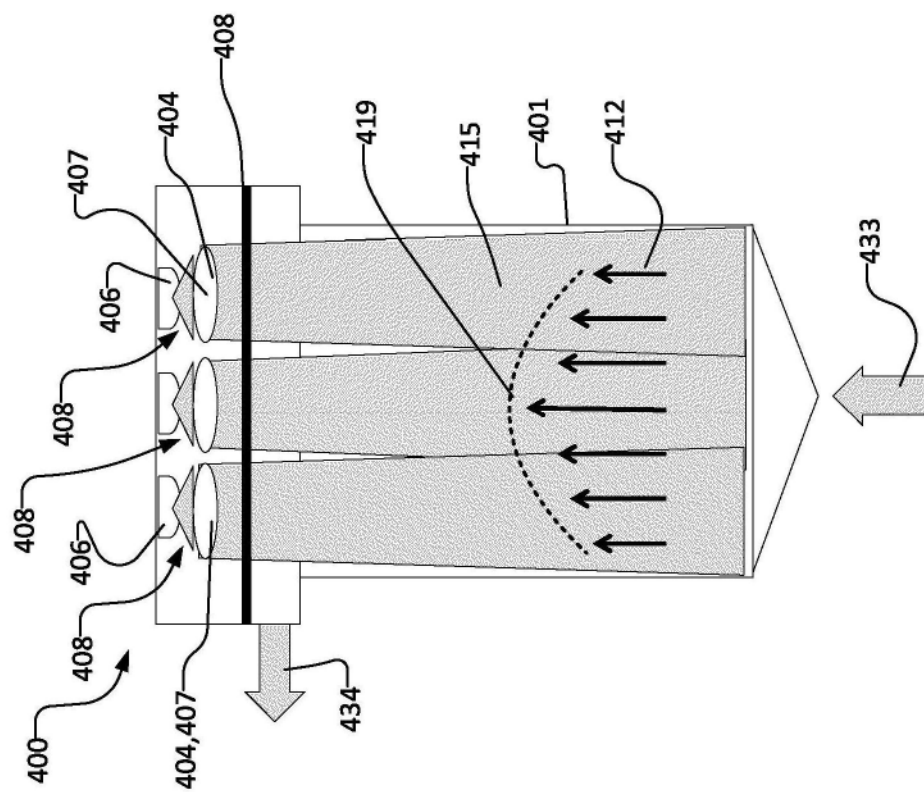
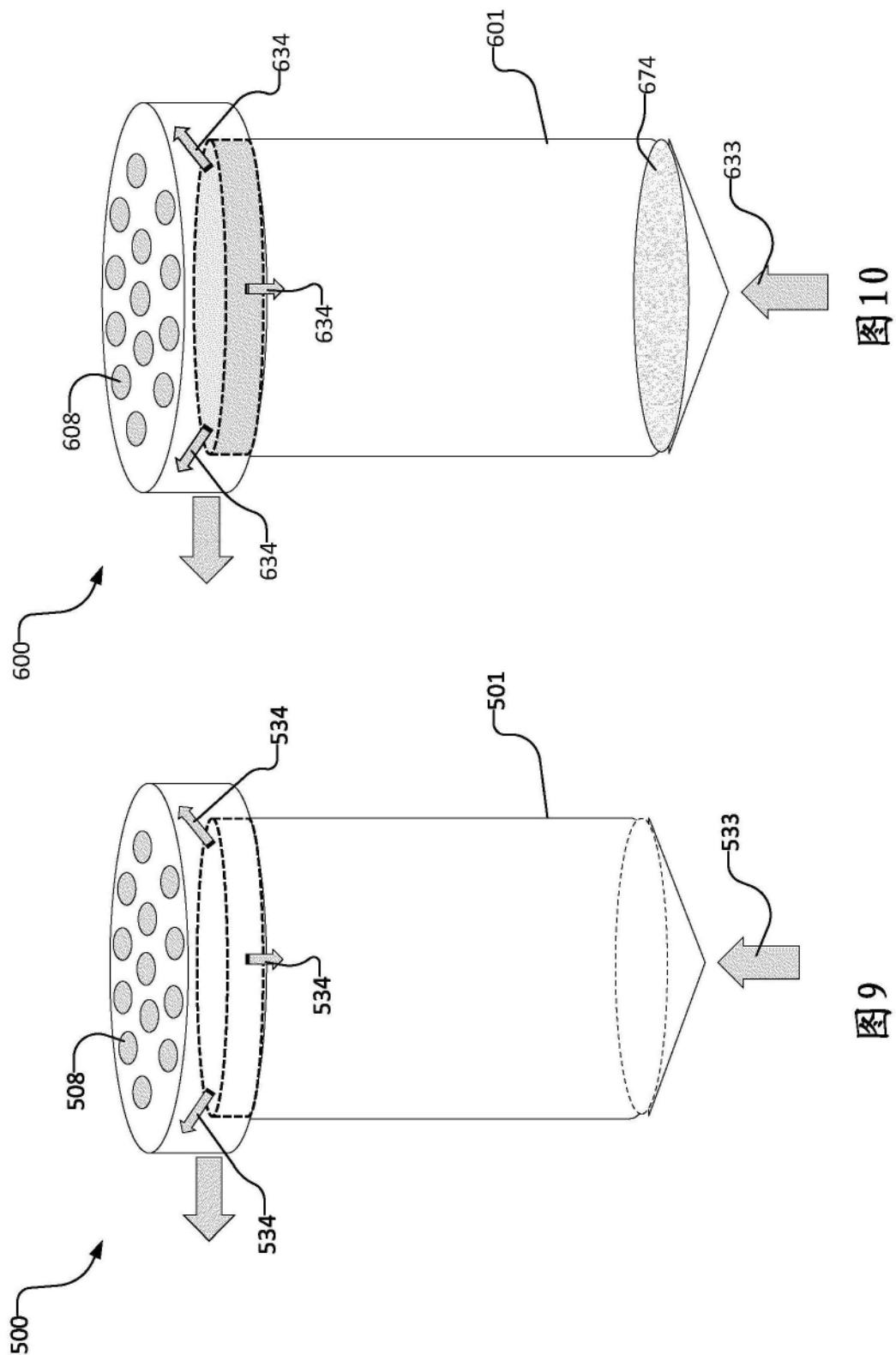


图8



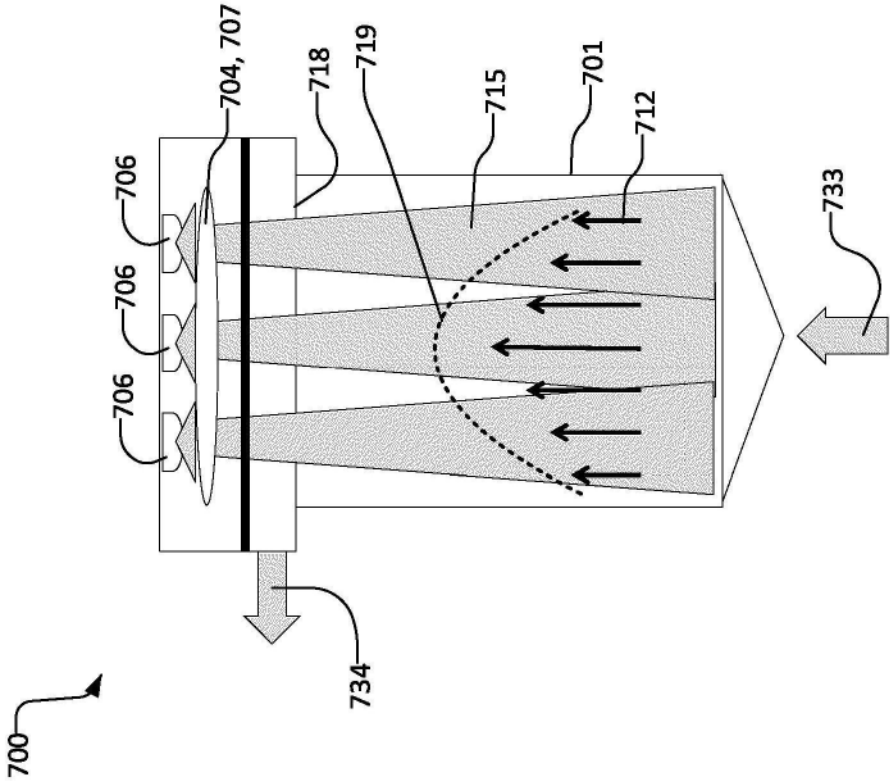


图11

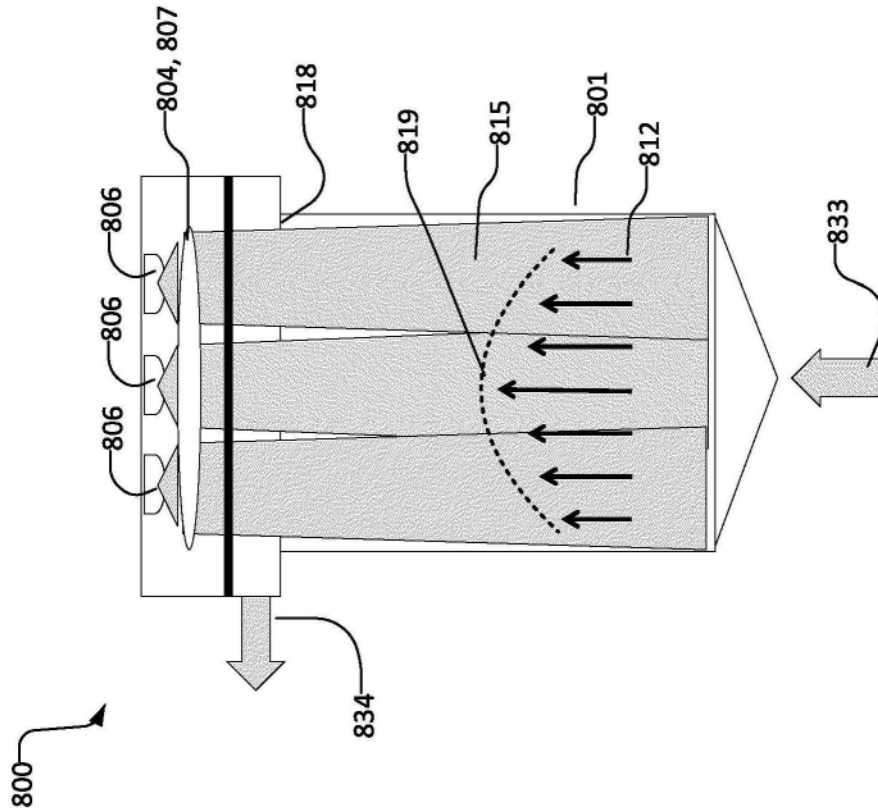


图12

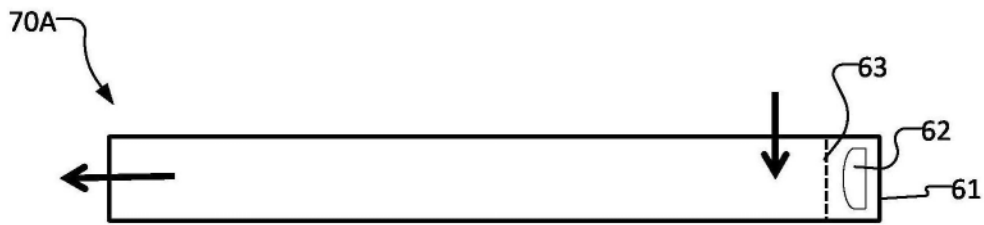


图13A

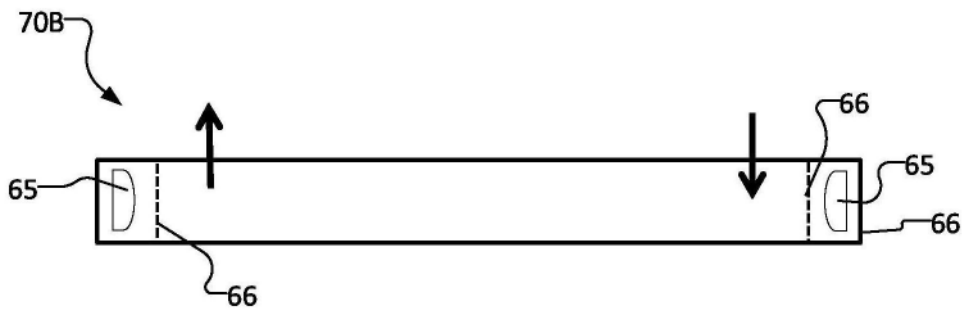


图13B

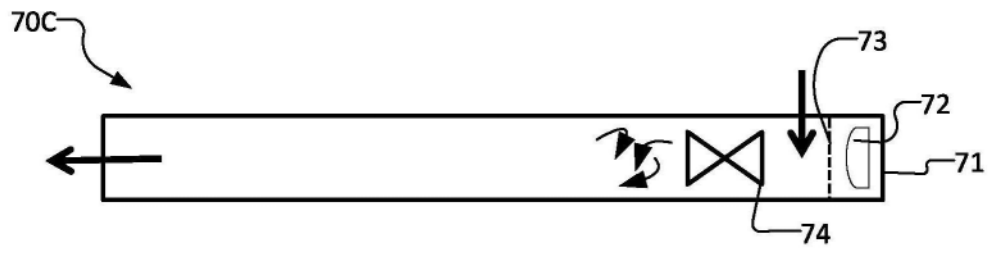


图13C

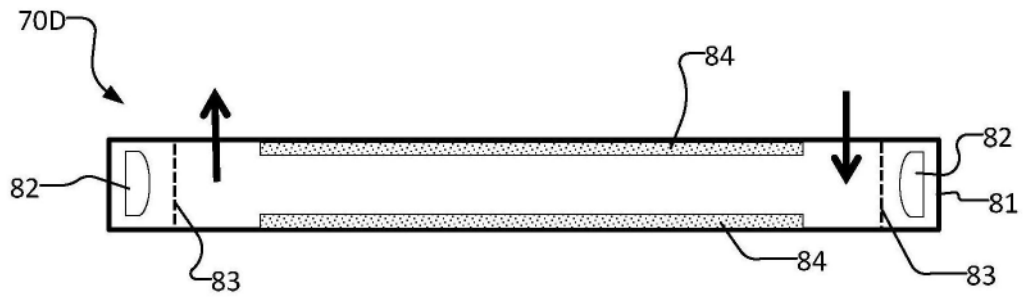


图13D

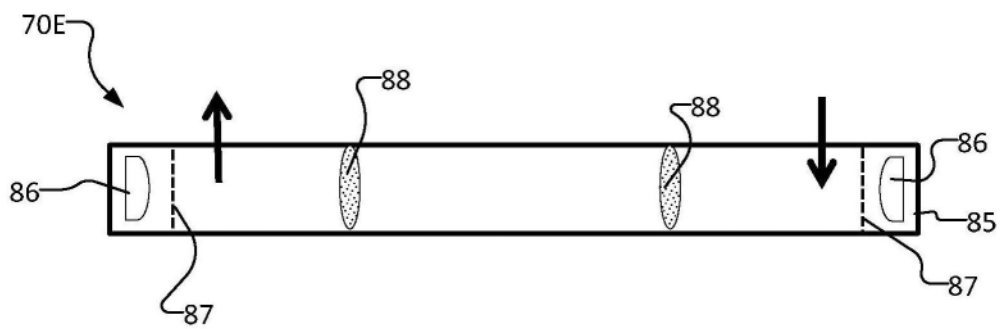


图13E

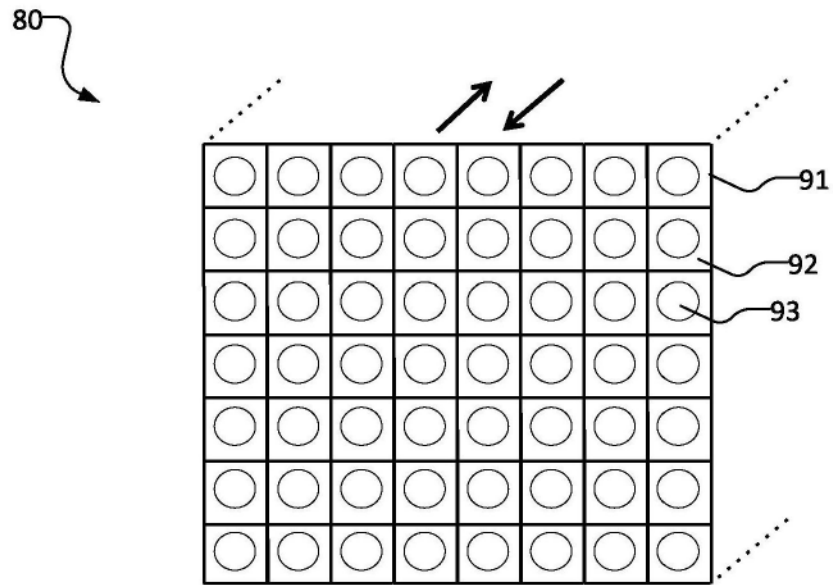


图14A

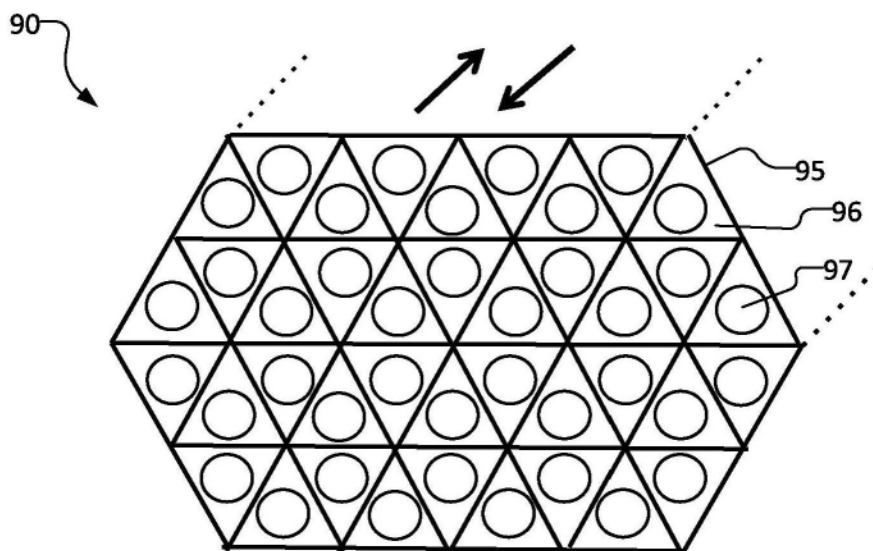


图14B

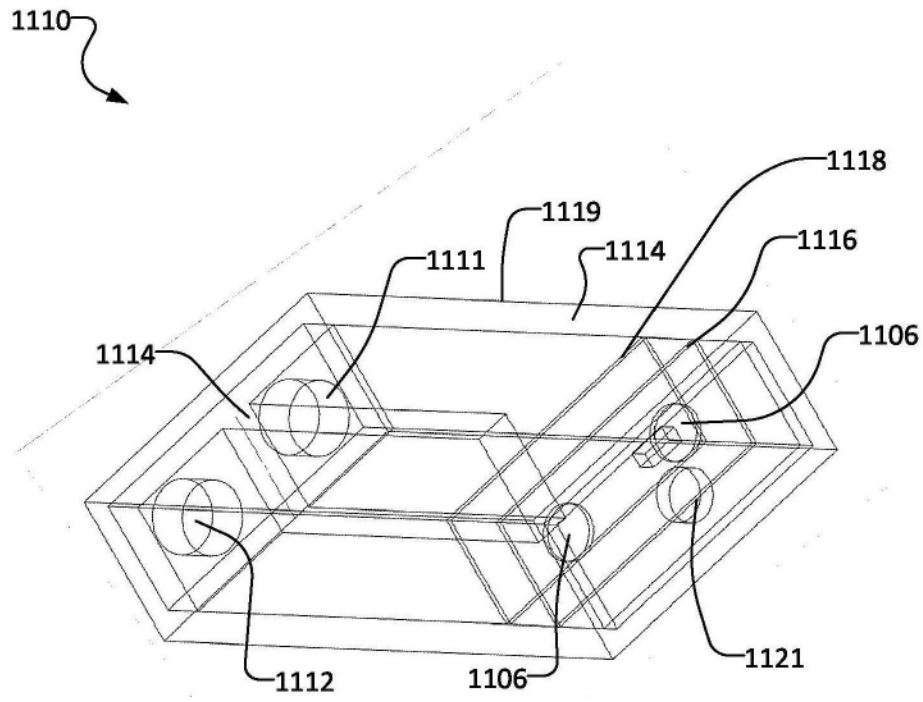


图15C

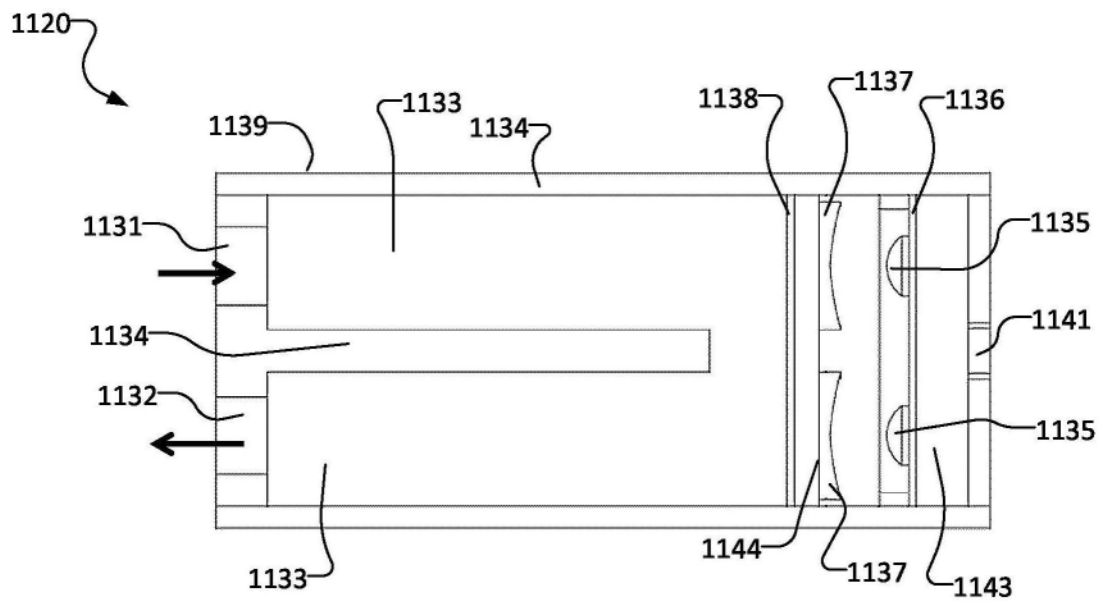


图16A

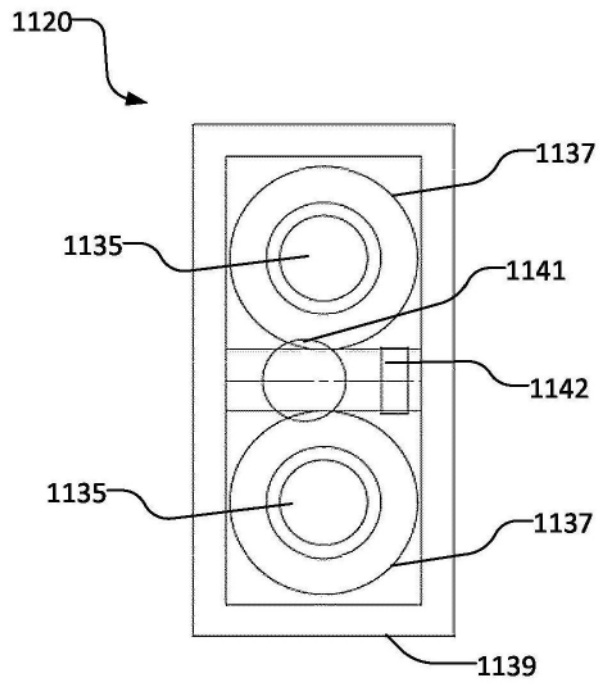


图16B

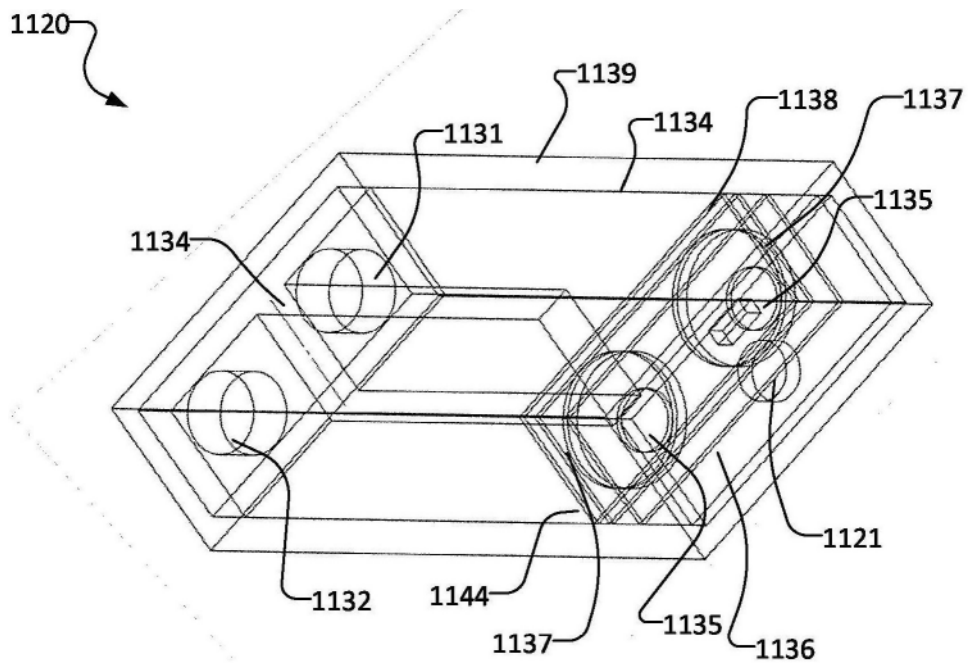


图16C

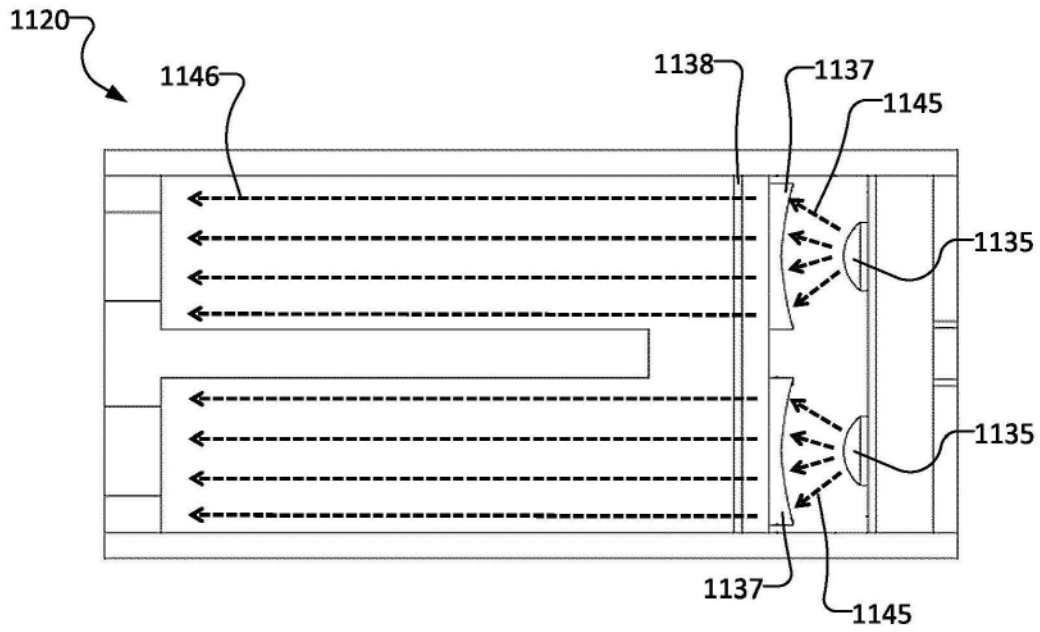


图16D

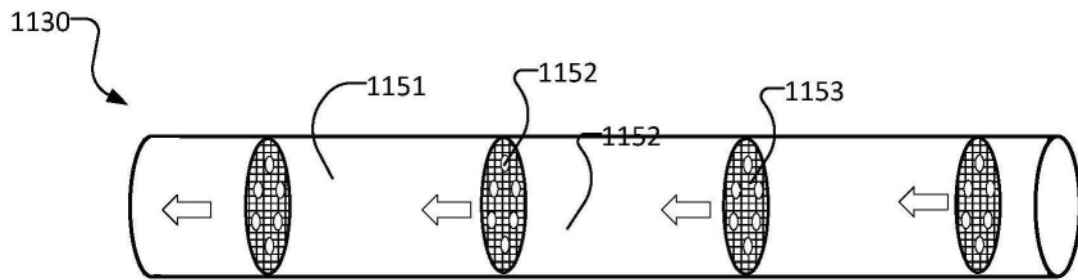


图17A

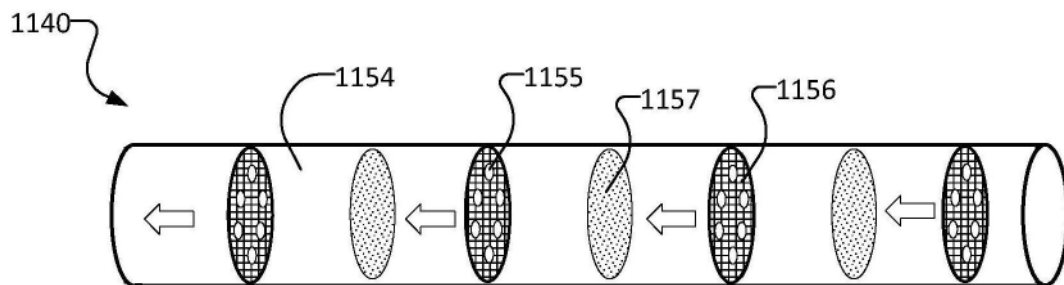


图17B

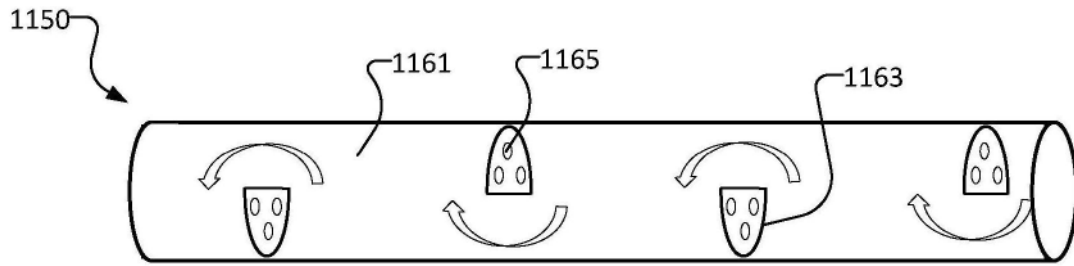


图18A

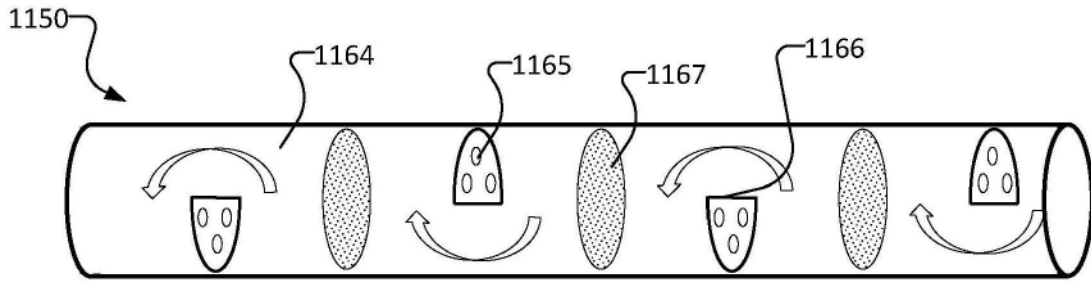


图18B

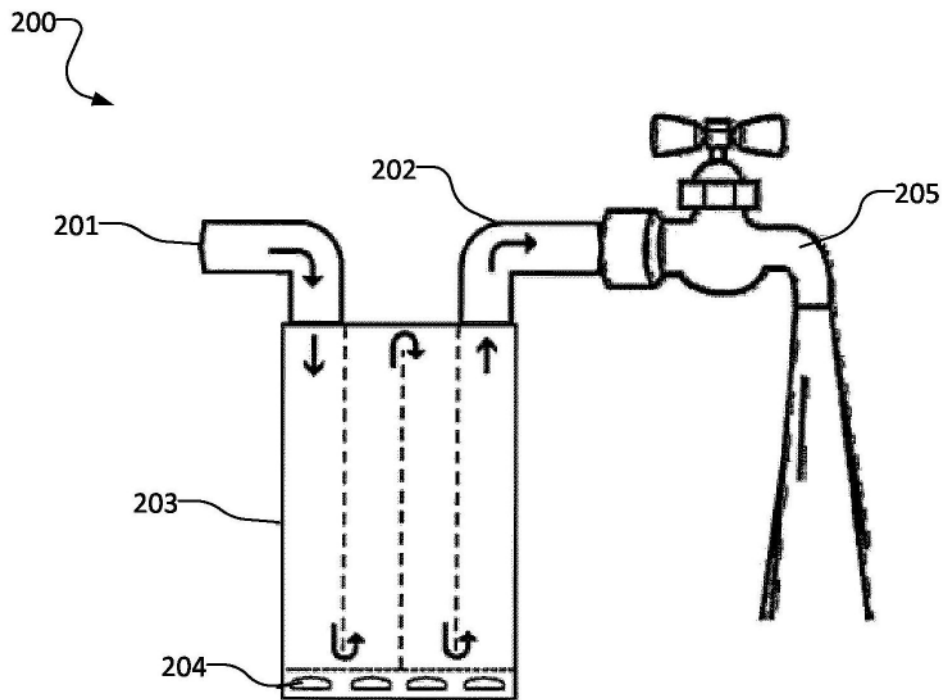


图19

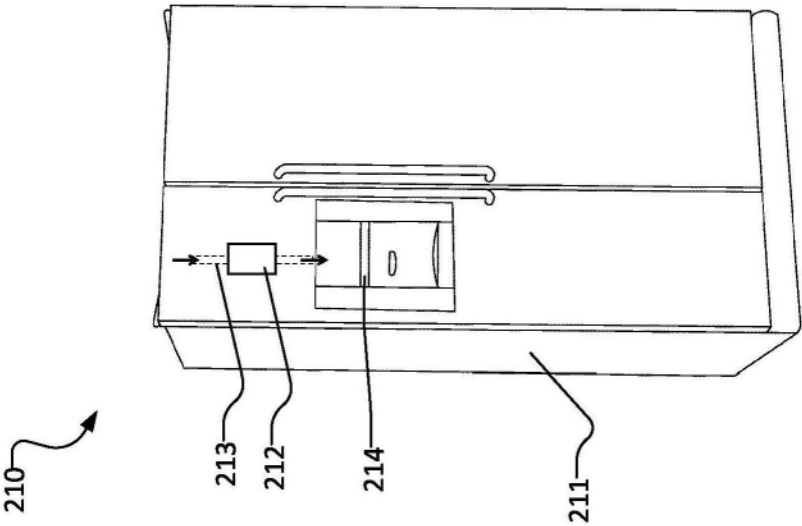


图20

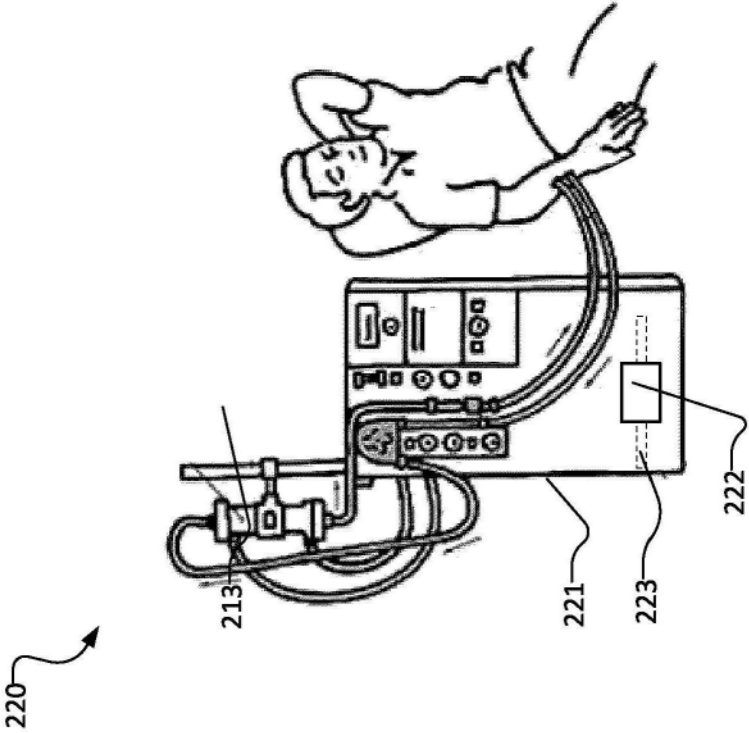


图21