



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96197457.5

[43]公开日 1998 年 11 月 11 日

[11] 公开号 CN 1198679A

[22]申请日 96.9.5

[30]优先权

[32]95.9.6 [33]US[31]08 / 524,284

[32]96.5.9 [33]US[31]08 / 647,070

[86]国际申请 PCT / US96 / 14204 96.9.5

[87]国际公布 WO97 / 09073 英 97.3.13

[85]进入国家阶段日期 98.4.6

[71]申请人 宇宙航空技术股份有限公司

地址 美国新泽西州

[72]发明人 D·Y·戈斯瓦密

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

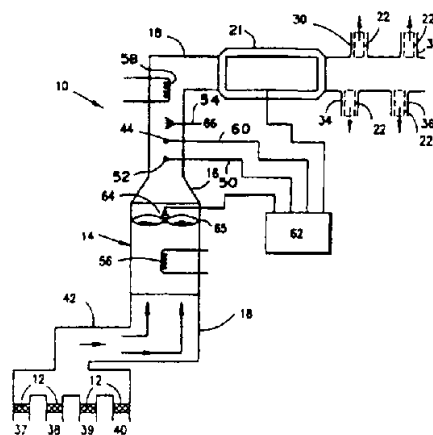
代理人 章鸣玉

权利要求书 6 页 说明书 14 页 附图页数 15 页

[54]发明名称 光催化空气消毒

[57]摘要

一种对含微生物的空气流进行消毒的方法，它包括下述步骤：提供相对湿度在约 40%以上、含微生物的气流；使上述气流与涂布在能捕捉生物气溶胶的过滤介质（28）的上游表面上、具有预定带隙能量的光催化剂在具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源（24）的存在下接触，这样，通过光催化氧化将气流中的至少一部分微生物杀灭。本文揭示了实施本发明方法的设备，例如单机设备（80）和在建筑物的 HVAC 系统中采用的设备，它包括空气供应调节器（210）。还揭示了可捕捉生物气溶胶、涂布有光催化剂的过滤介质（28）。



权 利 要 求 书

1. 对含微生物的空气流进行消毒的方法, 它包括:
提供相对湿度在约 40 % 以上、含微生物的空气流;
- 5 使上述气流与涂布在可捕捉生物气溶胶的过滤介质 (28) 的上游表面上的、具有预定带隙能量的光催化剂在具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源 (24) 的存在下接触, 其特征在于, 上述气流中的至少一部分微生物由于光催化氧化反应而被杀灭。
2. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 还包括控制所述气流流速的步骤,
- 10 以使微生物完全杀灭。
3. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述相对湿度在约 40 - 70 % 之间。
4. 如权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述相对湿度约为 50 %。
5. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述光催化剂是一种半导体。
- 15 6. 如权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 所述半导体是 TiO_2 。
7. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述光子源 (24) 包含波长在约 300 - 400nm 之间的 UV 光。
8. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述过滤介质 (28) 位于与所述气流的流动方向成横向的位置。
- 20 9. 对一定数量含微生物的空气进行消毒的设备, 它包括:
涂布在过滤介质 (28) 上游表面上的具有预定带隙能量的光催化剂, 所述过滤介质 (28) 可捕捉生物气溶胶, 处于与所述空气接触的位置;
用具有相应于所述光催化剂带隙能量的波长的光子源 (24) 照射所述涂布有光催化剂的过滤介质的装置;
- 25 使所述空气与所述涂布有光催化剂的过滤介质接触的装置 (65);
将所述空气的相对湿度维持在约 40 % 以上的装置 (50), 其特征在于, 当用所述光子源 (24) 照射所述涂布有光催化剂的过滤介质时, 所述空气与所述光催化剂接触后空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被杀灭。
10. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 还包括控制所述空气流速的装置
- 30 (62), 这样, 所述空气在光催化剂上面停留的时间足以有效地完全杀灭空气中的微生物。
11. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 所述光催化剂是一种半导体。
12. 如权利要求 11 所述的设备, 其特征在于, 所述半导体是 TiO_2 。
13. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 还包括含所述涂布有光催化剂的
- 35 过滤介质 (28) 的 HEPA 滤器。

14. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 还包括含所述过滤介质 (28) 的微孔滤器。

15. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 所述光子源 (24) 包含波长在约 300 - 400nm 之间的 UV 光。

5 16. 对含微生物的空气进行消毒的设备, 它包括:

管道 (18), 空气通过那里移动;

送风机 (65), 它与管道连接, 使空气通过管道移动;

光催化剂, 它具有预定的带隙能量, 位于所述管道 (18) 中, 在与所述空气接触的、可捕捉生物气溶胶的过滤介质 (28) 的上游表面上;

10 灯 (24), 它位于与所述光催化剂足够近的地方, 用具有相应于所述光催化剂带隙能量的波长的光子源照射所述光催化剂;

湿度控制器 (50), 它适合将所述管道 (18) 中的空气相对湿度调节在约 40 % 以上, 其特征在于, 当用所述灯 (24) 发出的光子源照射所述光催化剂时, 所述空气与光催化剂接触后, 空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被
15 杀灭。

17. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述湿度控制器 (50) 适合将所述管道 (18) 中的空气相对湿度调节在可有效地完全杀灭所述微生物的范围内。

18. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述湿度控制器 (50) 适合将
20 所述管道中的空气相对湿度保持在约 40 - 70 % 之间。

19. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述光催化剂是一种半导体。

20. 如权利要求 19 所述的设备, 其特征在于, 所述半导体是 TiO_2 。

21. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括含所述涂布有光催化剂的过滤介质 (28) 的 HEPA 滤器。

25 22. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括含所述涂布有光催化剂的过滤介质 (28) 的微孔滤器。

23. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述光催化剂还涂布在所述管道 (18) 的至少一个内壁上。

24. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述光催化剂还涂布在插入在
30 所述管道 (18) 中的衬套 (29) 的至少一个内壁上。

25. 如权利要求 24 所述的设备, 其特征在于, 所述管道衬套 (18) 的至少一个内壁 (31) 具有固定在其表面、涂布有所述光催化剂的翼片 (226), 从而可增加所述管道衬套 (29) 的涂布有光催化剂的表面积。

26. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述光子源 (24) 包含波长在
35 约 300 - 400nm 之间的 UV 光。

27. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括位于所述管道 (18) 中

的湿度检测器 (52) 。

28. 如权利要求 27 所述的设备, 其特征在于, 还包括微处理器 (62), 它适合根据从所述湿度检测器 (52) 收到的信息对所述湿度控制器 (50) 进行控制。

29. 如权利要求 28 所述的设备, 其特征在于, 还包括位于所述管道 (18) 中的空气速度检测器 (44), 其中, 所述微处理器 (62) 还适合根据从所述空气速度检测器 (44) 收到的信息对所述送风机 (65) 的速度进行控制。

30. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括位于所述管道 (18) 中的空气速度检测器 (44) 。

31. 如权利要求 30 所述的设备, 其特征在于, 还包括微处理器 (62), 它适合根据从所述空气速度检测器 (44) 收到的信息对所述送风机 (65) 的速度进行控制。

32. 如权利要求 31 所述的设备, 其特征在于, 还包括位于所述管道 (18) 中的湿度探头 (52), 其中所述微处理器 (62) 还适合根据从所述湿度探头 (52) 收到的信息对所述湿度控制器 (50) 进行控制。

33. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括微处理器 (62), 它适合控制所述湿度控制器 (50) 。

34. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括微处理器 (62), 它适合控制所述送风机 (65) 的速度。

35. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述管道 (18) 是加热、通风和空气调节系统的一部分。

36. 如权利要求 35 所述的设备, 其特征在于, 所述送风机 (65) 是加热、通风和空气调节系统的一部分。

37. 如权利要求 35 所述的设备, 其特征在于, 所述湿度控制器 (50) 是加热、通风和空气调节系统的一部分。

38. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括在所述光催化剂 (230) 下游的过滤介质, 它与通过所述管道 (18) 移动的空气接触, 可吸附选自挥发性有机污染物和/或异味。

39. 对含微生物的空气进行消毒的设备, 它包括:

光催化剂, 它具有预定的带隙能量, 涂布在可捕捉生物气溶胶的过滤介质 (28) 的上游表面上, 位于与通过那里移动的空气接触的加热、通风和空气调节系统的空气供应调节器 (210) 中;

灯 (24), 它位于与所述光催化剂足够近的地方, 用具有相应于所述光催化剂带隙能量的波长的光子源照射所述光催化剂;

其特征在于, 所述加热、通风和空气调节系统具有送风机 (65) 和湿度控制器 (50), 所述送风机 (65) 使空气移动通过所述空气供应调节器 (210), 所述湿度控制器 (50) 适合将所述加热、通风和空气调节系统中的空气相对湿

度调节在约 40 % 以上, 这样, 当用所述光子源 (24) 照射所述光催化剂时, 所述空气与光催化剂接触后, 空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被杀灭。

5 40. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 所述湿度控制器 (50) 适合将所述加热、通风和空气调节系统中的空气相对湿度保持在约 40 - 70 % 之间。

41. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 所述光催化剂是一种半导体。

42. 如权利要求 41 所述的设备, 其特征在于, 所述半导体是 TiO_2 。

43. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 还包括含所述过滤介质 (28) 的 HEPA 滤器。

10 44. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 还包括含所述过滤介质 (28) 的微孔滤器。

45. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 所述光催化剂还涂布在插入在所述调节器 (210) 中的衬套 (29) 的至少一个内表面 (31) 上。

15 46. 如权利要求 45 所述的设备, 其特征在于, 所述衬套 (29) 的至少一个内表面 (31) 具有固定在其表面、涂布有所述光催化剂的翼片 (226), 从而可增加所述衬套 (29) 的涂布有光催化剂的表面积。

47. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 所述光子源 (24) 包含波长在约 300 - 400nm 之间的 UV 光。

20 48. 如权利要求 39 所述的设备, 其特征在于, 还包括在所述光催化剂 (230) 下游的过滤介质, 它与通过所述管道 (18) 移动的空气接触, 可吸附挥发性有机污染物和/或异味。

49. 一种可捕捉生物气溶胶的过滤介质 (28), 其特征在于, 具有与含微生物的气流接触的上游表面, 其中所述过滤介质 (28) 的上游表面涂布有光催化剂。

25 50. 如权利要求 49 所述的过滤介质 (28), 其特征在于, 所述光催化剂是一种半导体。

51. 如权利要求 50 所述的过滤介质 (28), 其特征在于, 所述半导体是 TiO_2 。

52. 一种 HEPA 滤器, 其特征在于, 具有权利要求 49 所述的过滤介质 (28)。

53. 一种微孔滤器, 其特征在于, 具有权利要求 49 所述的过滤介质 (28)。

30 54. 对含微生物的空气进行消毒的独立设备 (80), 它包括:

容器 (88), 空气移动通过该容器;

送风机 (90), 它与所述容器 (88) 连接, 使空气移动通过该容器;

光催化剂, 它具有预定的带隙能量, 涂布在可捕捉生物气溶胶的过滤介质 (28) 的上游表面上, 位于所述容器 (88) 中, 与通过那里的空气接触;

35 灯 (24), 它具有相应于所述光催化剂带隙能量的波长的光子源, 用来照射所述光催化剂;

湿度控制器 (92)，它适合将所述容器 (88) 中的空气相对湿度保持在约 40 % 以上，其特征在于，当用所述光子源 (24) 照射所述光催化剂时，所述空气与光催化剂接触后，空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被杀灭。

5 55. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，所述湿度控制器 (92) 适合将所述容器 (88) 中的空气相对湿度保持在约 40 % 以上。

56. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，所述光催化剂是一种半导体。

57. 如权利要求 56 所述的设备 (80)，其特征在于，所述半导体是 TiO_2 。

10 58. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，还包括含所述过滤介质 (28) 的 HEPA 滤器。

59. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，还包括含所述过滤介质 (28) 的微孔滤器。

60. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，所述光催化剂还涂布在所述容器 (88) 的至少一个内表面上。

15 61. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，所述光催化剂还涂布在插入在所述容器 (88) 中的衬套 (212) 的至少一个内表面上。

62. 如权利要求 61 所述的设备 (80)，其特征在于，所述衬套 (212) 的至少一个内表面 (31) 具有固定在其表面、涂布有所述光催化剂的翼片 (226)，从而可增加所述衬套 (212) 的涂布有光催化剂的表面积。

20 63. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，所述光子源 (24) 包含波长在约 300 - 400nm 之间的 UV 光。

64. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，还包括位于所述容器 (88) 中的空气速度检测器 (99)。

25 65. 如权利要求 54 所述的设备 (80)，其特征在于，还包括微处理器 (102)，它适合根据从所述空气速度检测器 (99) 收到的信息对所述送风机 (90) 的速度进行控制。

66. 如权利要求 65 所述的设备 (80)，其特征在于，还包括位于所述容器 (88) 中的湿度探头 (101)，其中，所述微处理器 (102) 还适合根据从所述湿度探头 (101) 收到的信息对所述湿度控制器 (92) 进行控制。

30 67. 如权利要求 54 所述的设备，其特征在于，还具有位于所述容器 (88) 中的湿度探头 (101)。

68. 如权利要求 67 所述的设备，其特征在于，还包括微处理器 (102)，它适合根据从所述湿度探头 (101) 收到的信息对所述湿度控制器 (92) 进行控制。

35 69. 如权利要求 54 所述的设备，其特征在于，还包括微处理器 (102)，它适合控制所述湿度控制器 (90)。

70. 如权利要求 54 所述的设备，其特征在于，还包括微处理器（102），它适合控制所述送风机（90）的速度。

71. 如权利要求 54 所述的设备，其特征在于，还包括在所述光催化剂（230）的下游的过滤介质，它与通过所述容器（88）的空气接触并能吸附挥发性有机
5 污染物和/或异味。

说明书

光催化空气消毒

5 与相关申请的交互参照

本申请是 D. Yogi Goswami 于 1995 年 9 月 6 日向美国专利和商标局申请的、名称为“用于提高空气质量的光催化系统”的美国专利申请 No. 08/524,284 的部分继续申请，母申请中公开的内容在此处引作参考。

10 技术领域

本发明涉及通过光催化氧化对空气进行消毒的方法，具体地说，涉及这样的方法：提供相对湿度在约 40 % 以上的需消毒的空气，然后在紫外光（UV）的存在下使空气与光催化剂接触，这样，空气中的至少一部分微生物由于光催化氧化而被杀灭。本发明还涉及空气消毒设备，这些设备具有被 UV 光照射的涂布有光
15 催化剂的表面，并具有使空气与涂布有光催化剂的表面接触的装置以及将空气的相对湿度保持在约 40 % 以上的装置，这样，当用 UV 光照射涂布有光催化剂的表面时，空气中的微生物由于光催化氧化而被杀灭。

美国人的时间 90 % 是在室内度过的，在室内时，他们暴露于各种承载在空气中的污染物，例如挥发性的有机化合物（VOC）、氮和生物。在 80 年代的一项
20 研究中，环境保护署（EPA）得出结论，室内空气污染比室外空气污染对健康形成更大的危险。室内空气污染被认为会引起医疗费用的显著增加和劳动生产率下降。

在建筑物循环系统中，来自独立源的污染物水平其自身可能并不具有显著危险。然而，许多建筑物存在一个以上会引起室内空气污染的源头。由这样的室内
25 空气污染物引起的疾病有时称作“污染建筑物综合征”。引起室内空气污染的原因是不受欢迎的颗粒物质、不受欢迎的化学物质和微生物污染物。在前两种情形，常用的技术时常通过过滤或通风来加以解决。挥发性有机化合物（VOC）和微生物污染的问题则产生更严重的障碍。

由于有这么多的美国人在具有机械加热、冷却和通风系统的办公室和建筑物
30 中度过大量的时间，这样的系统形成生物污染危险。近年来，室内环境的生物问题已受到相当关注。费城 1976 年爆发的军团病（Legionnaires' disease）可能是由室内污染物引起的疾病中最受公众关注的案例。

生物污染物包括细菌、霉菌和病毒。受污染的中央空气系统可成为生物污染物的滋生地，强迫通风可将污染物在整个建筑物中扩散。

35 在过去的三十至四十年中，建筑物的结构和作用已发生了显著变化。建筑物

外壳已变得更紧密，由此，在加热、通风和空调（HVAC）系统中较少使用室外空气。微生物不那么容易通过与新鲜空气的混合而稀释。节约能量程序已导致建筑物的室内环境更湿润，从而有利于某些类型的微生物生长。

5 由于在一些建筑物中维修程序被忽视，成为微生物滋养物的过量污垢在 HVAC 系统的壁龛中累积。这导致称作建筑物相关疾病、建筑物疾病和污染建筑物综合征的疾病。

背景技术

已有几种微生物颗粒控制技术（包括机械过滤器和静电过滤器）可用来作为建筑
10 物强制通风加热/冷却系统的一部分来减少可吸入颗粒的室内浓度。微生物过滤器由于其成本低、操作容易而已被用于空气和其他气体的消毒。可将这些过滤器构建成不仅可除去微生物而且还可除去亚微米细粒。为经济而有效地使用这些过滤器，待过滤的空气中气溶胶含量必须低。（分散在空气中的微生物、颗粒和液滴称作气溶胶）。这些过滤器的缺点是它们不能永久地除去污染物，只能将污染物移至另一个
15 介质（即过滤器）中。阻塞将引起管道中有高的压降。

一个可行的方法是永久地除去污染物并产生无毒性的残渣。紫外消毒已在过去被广泛地用来杀灭生物污染物和使毒性化学物质降解。

这样的紫外处理在消毒方面效果很好，但室内环境还可能被低水平的毒性化学物质（如甲醛、苯乙烯和甲苯等）污染。单独的 UV 光能已证明不能有效地降
20 解这些化学物质。例如，Raupp 和 Dibble 的美国专利 No. 5,045,288 以及 Robertson 和 Henderson 的美国专利 No. 4,892,712、4,966,759 和 5,032,241 使用了紫外来处理含污染物的流体和气体。

已得到广泛关注的另一个可选择的方法是光催化氧化，它包括用光催化剂（例如 TiO_2 ）来完全降解水中的烃类物质和杀灭微生物。Patel 在 *Antibacterial Effect
25 Of Catalyzed Radiation*, Masters Thesis, University of Florida, Gainesville（1993）中报道说， TiO_2 粉末在水中照射 60 - 120 分钟之后，可杀灭粘质沙雷氏菌（*Serratia marcescens*）。Saito 等，*J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 14, 369-79（1992）；Matsunaga，*J. Antibact. Antifungic. Agents*, 13, 211-20（1980）；Nagane 等，*J. Dent. Res.*, 68, 1696 - 7（1989）和 Moriaka 等，*Caries. Res.*,
30 22, 230-1（1988）报道说， TiO_2 在水中曝气 60 - 120 分钟之后，可杀灭大肠杆菌（*E.coli*）和嗜酸乳杆菌（*Lactobacillus acidophilus*）。Wang 等，*Proceedings of the First International Conference on TiO_2 Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*（London, Ontario, Canada, November, 8-13, 1992）pp. 733-9；Wang 等，*Proc. AWWA Conf.*（San Antonio, TX, 1993）；Savat 等，*J. Catalysis*, 127, 167-77（1991）和 Anderson 等，*Further Catalytic Purification of Water and Air*, 1, 405-20（1993）报道了三氯乙烯（TCE）和其他有机污染物的
35

气相去毒。但仍需要一种从空气中除去微生物的方法。

发明概述

本发明满足上述需要。

- 5 现已发现,通过在控制的湿度条件下 UV 光对光催化剂的作用而激发的光催化氧化可对含微生物的空气消毒。

本发明的主要目的是提供一种可行的室内空气净化和去毒方法,它可用于新的或已安装的空气管道系统。

- 10 本发明的另一个目的是提供一种较廉价的去毒反应器,它可置于有问题的建筑物的管道系统内。该反应器单元可配置在空气分配系统的一个或几个主管道内,或反应器可配置在通向室内调风器的每个管道中。

本发明的又一目的是提供一种去毒反应器单元,它可容易地配置在新的循环系统中,或作为对有问题的循环系统的改进,或作为独立的空气过滤单元,或作为出口通风系统,或者它可用作真空清洗系统的出口室。

- 15 本发明的还有一个目的是提供一种装置,用该装置可对通过反应器的空气流率和该气流的湿度进行调节,以使作用于催化剂(例如 TiO_2) 的 UV 光能产生最大的杀菌效率。

- 20 本发明的另一个重要目的是提供一种光催化氧化系统,它不仅能杀灭微生物,而且能消除有机化学物质和室内空气中常常会闻到的、由微生物和挥发性有机污染物产生的异味。

本发明的另一个目的是提供一种涂布有催化剂的管道,它在合适波长的光入射在涂布有催化剂的管道表面上的情况下将不被微生物污染。

本发明的又一个目的是提供净化由密封室内排出的被污染空气的单机实施方式,在该密封室内,进行某些有毒的操作,例如油漆密封室。

- 25 具体地说,该单机实施方式还可用于医院,包括对空气的无菌状态的要求非常严格的手术室、医生等候室、休息室和其他可进行封闭循环且需要减少异味和高度净化以给使用这些设施的人提供舒适环境的地方。

- 30 因此,根据本发明的一个实施方式,对含微生物的空气流进行消毒的方法包括下述步骤:提供相对湿度在约 40 % 以上、含微生物的空气流;使上述气流与具有预定带隙能量的光催化剂在具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源的存在下接触,这样,通过光催化氧化将气流中的至少一部分微生物杀灭。本发明的较佳方法还控制气流的流速,这样,气流中的至少一部分微生物被杀灭。

- 35 本发明还包括实施本发明方法的设备。因此,根据本发明的另一实施方式,对一定数量含微生物的空气进行消毒的设备具有以下部分:涂布有光催化剂的表面,所述光催化剂具有预定的带隙能量;用具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源照射涂布有光催化剂的表面的装置;使所述空气与涂布有光催化剂的表

面接触的装置以及将空气的相对湿度维持在约 40 % 以上的装置, 这样, 当用 UV 光照射涂布有光催化剂的表面时, 上述空气与光催化剂接触后空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被杀灭。

5 本发明的方法和设备适合于在建筑物的 HVAC 系统内使用或作为独立的单元。因此, 根据本发明该实施方式的一个方面, 用于对含微生物的空气进行消毒的设备含以下部分: 管道, 空气通过那里进行移动; 送风机, 它与管道连接, 使空气通过管道移动; 光催化剂, 它位于管道中, 具有预定的带隙能量; 灯, 它位于与光催化剂足够近的地方, 用具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源对光催化剂进行照射; 湿度控制器, 调节至将管道中的空气相对湿度保持在约 40 % 以上, 这样, 当用灯发出的 UV 光照射光催化剂时, 上述空气与光催化剂接触后空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被杀灭。

10 根据本发明该实施方式的另一部分, 对含微生物的空气进行消毒的独立的设备具有以下部分: 容器, 空气通过那里移动; 送风机, 它与容器连接, 使空气通过容器移动; 位于容器中的光催化剂, 它具有预定的带隙能量; 灯, 它用具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源来照射光催化剂; 湿度控制器, 调节至将容器中的空气相对湿度保持在约 40 % 以上, 这样, 当用 UV 光照射光催化剂时, 上述空气与光催化剂接触后空气中的至少一部分微生物即由于光催化氧化而被杀灭。

20 本发明还包括以下发现: 用具有预定的带隙能量的光催化剂涂布过滤介质, 可延长能捕捉含微生物的生物气溶胶的过滤介质的有效寿命。当在相对湿度可有效引发上述光催化氧化的条件下用具有相应于光催化剂带隙能量的波长的光子源照射过滤介质时, 至少一部分被过滤介质捕捉的微生物被杀灭, 由此对捕捉了生物气溶胶的过滤介质进行了净化, 这样, 过滤介质可继续捕捉生物气溶胶, 延长了滤器更换的时间间隔。

25 根据本发明的该实施方式, 可捕捉生物气溶胶的过滤介质具有与含微生物的气流接触的上游表面 (upstream surface), 而该表面涂布有光催化剂。过滤介质最好含于 HEPA 滤器或微孔滤器内。

通过下面结合附图对优选实施方式的说明, 可清楚地看到本发明的上述的和其他的目的、特征和优点。

30

附图的简单说明

图 1 是用于建筑物的、装有本发明反应器系统的典型的加热/冷却管道系统的示意图;

图 2 是用于说明其他视图的横截面的反应器单元的示意透视图;

35 图 3 是说明反应器单元的几个主要部件的分解示意图;

图 4、5 和 6 是沿图 2 中 4 - 4 线的反应器单元的各种实施方式的纵向横截

面, 显示 UV 灯相对于有涂层部件的排列;

图 7 是单机实施方式的纵向横截面;

图 8 是图 7 的独立单元的立式变型;

图 9 是沿 9 - 9 线的横截面, 显示位于管道周界的 UV 灯;

5 图 10 是说明 UV 灯相对于催化性插入物的位置的示意透视图;

图 11 是本发明的另一单机实施方式的纵向横截面视图;

图 12 是本发明的又一单机实施方式的纵向横截面视图;

图 13 是本发明的催化性插入物的纵向横截面视图;

图 14 是本发明的反应器单元的另一实施方式的示意透视图;

10 图 15 是本发明的催化性插入物的示意透视图;

图 16 是本发明的 UV 灯装置的示意透视图;

图 17 是本发明的催化性插入物的另一实施方式的示意透视图;

图 18 是固定在壁上的 UV 灯的纵向横截面视图;

图 19 是使用图 18 中所示的固定在壁上的 UV 灯的反应器单元的示意透视图;

15 图 20 和 21 是本发明的反应器单元的又一实施方式的示意透视图;

图 22 和 23 是固定在 HVAC 系统的空气供应调节器中的本发明的反应器实施方式的示意透视图;

图 24 描述在 30 % RH 的条件下通过光解和光催化氧化杀灭粘质沙雷氏菌的情况;

20 图 25 描述在 50 % RH 的条件下通过光分解和光催化氧化杀灭粘质沙雷氏菌的情况;

图 26 描述在 85 % RH 的条件下通过光分解和光催化氧化杀灭粘质沙雷氏菌的情况;

图 27 描述不同湿度对杀灭粘质沙雷氏菌的影响;

25 图 28 描述在 RH 为 50 %、UV 强度为 $100\text{W}/\text{m}^2$ 的条件下用两种不同的反应器结构通过光分解和光催化氧化杀灭粘质沙雷氏菌的情况;

图 29 描述在不同的 UV 强度的条件下杀灭粘质沙雷氏菌的情况。

值得注意的是, 附图并不一定按比例绘制, 而是将某些要素扩大以更清楚地显示本发明的各个方面和它们的优点。

30

本发明的最佳实施方式

下面参见附图, 各附图中相同的部件用相同的数字表示, 图 1 是实施本发明方法的本发明的一个装置, 其中数字 10 表示本发明的系统。在大多数建筑物中, 送风机/风扇将空气从进行空气调节的空间的各个区域通过进风口和颗粒/气溶胶
35 过滤器 12 抽入管道系统中。然后, 空气可在加热炉的加热盘管或空调机的加热/冷却盘管/空气调节单元 14 的热泵之上通过。冷却盘管由于其在冷却空气的同时将

湿气冷凝而起着除湿机的作用。

空气调节单元 14 的风扇 65 将强制空气在盘管 13 和 15 之上通过, 进入管道系统 18。在图 1 中, 沿管道 18 有一个主反应器 21。在许多装置中, 有它即足够。然而, 在图 1 的实施方式中, 在管道系统 18 的支线中还有一系列反应器单元 22。

5 图 2 概略地说明了反应器 21 中的主要部件。这些部件还将出现在反应器 22 中。这些主要部件是涂布有催化剂的衬套 29、一排 UV 灯 24 和表面 28 涂布有催化剂的网格。在有些情况下, 仅使用涂布过的衬套或涂布过的网格。这里使用两者。在本发明中, 涂布有催化剂的衬套和网格统称作催化性插入物。灯最好发射 UV - A 谱段的低能光子和 UV - B 谱段的较低能量部分。UV 波长最好在约 300
10 - 400nm 之间。

在图 4、5 和 6 中可见到反应器 22 的各种内部配置。在每个反应器中有通过电线 25 和 26 与电源连接的一排 UV 灯 24。电线 25 和 26 显示在图 5 和 6 中, 但相似的电线将出现在所有实施方式中。在这些实施方式中灯 24 发出的紫外线射在有涂层的衬套 29 (图 4) 或网格的一个侧面和有涂层的衬套 (图 6) 上, 网
15 格和衬套之一或二者可用光催化剂涂布。紫外线还可射向有涂层的网格 28 的两侧和在网格两侧的有涂层的衬套区段 29 和 29'。参见图 5。

基本上任何在相对湿度大于约 40 % 的空气存在下用光子源照射时可催化光催化氧化反应的物质都适合在本发明中用作光催化剂。本领域的技术人员可容易地确定这些物质而无需过多的实验。合适的光催化剂的例子有半导体材料 (例如
20 ZnO_2 、 TiO_2) 等。然而, 基本上可使用任何半导体材料或将半导体材料与贵金属或其他金属 (例如银) 结合使用。较好的是, 光催化剂与具有相应于该光催化剂的带隙能量的波长的光子源结合使用。优选的光子源是 UV 光。优选的光催化剂是 TiO_2 , 其带隙能量在波长 300 - 400nm 的 UV 光子的能量范围之内。

网格 28 可由任何材料制成, 只要能用常用方法将光催化剂粘附在其上面即可。
25 管道衬套 29 可由任何材料制成, 只要能用常用方法将光催化剂沉积和粘附在其内表面 31 上即可。

用于网格的这些纤维和材料的一些例子包括天然纤维 (例如棉或羊毛)、人造纤维和合成纤维 (例如人造丝、聚酯、聚丙烯、和特氟隆) 以及其它纤维 (例如阻燃纤维材料以及碳和所有其它功能性纤维材料)。网格 28 的构造为稀松的
30 机织结构、非织造结构或针织结构, 或它们的组合, 这样, 它令空气可相对自由地流动而没有过大的压力下降。

在通过反应器 22 和离开支导管 30、32、34 和 36 之后, 空气被导向室内调风器中。显然, 在大的建筑物中, 可能有几十个从许多主要管道分枝的 30 - 36 型导管。各房间通常有一个空气返回口。空气从各房间返回并通过一系列由数字
35 37、38、39 和 40 表示的管道在系统中循环。这些管道含滤器 12, 并合并于集气管 42 中, 集气管 42 将空气送回空气调节单元 14 的进口侧, 在空气调节单元

14, 空气可能被重新冷却或重新加热, 然后送回管道系统 18。

反应器 21 中循环的空气在涂布有催化剂的网格 28 或涂布过的管道衬套 29 之上的保持时间很重要。管道系统内空气的流速用检测器 44 测量。

在图 1 中, 常用的流速检测器 44 (Mamac Anubar 型流速检测器) 位于主要的管道系统 18 中。流速检测器时常置于各反应器 22 内, 它是就下述独立单元所描述的那种类型的反应器。

空气流速越快, 则空气将在网格 28 的催化表面之上保持的时间或与衬套 29 的涂布过的表面 31 的接触时间越少。当流速或体积排送量降低时, 保持时间增加。如前面所述, 通常最好在所有时间保持空气在整个建筑物中流通。这里, 对空气速度进行调节, 通过控制在催化表面上的保持时间, 以最大程度地消灭有害物质。

该保持时间将随空气流速、管道大小、催化表面面积和其他物理特性而变化。不管怎样, 空气速度即体积流速从检测器 44 输入微处理器 62。微处理器 62 反过来控制风扇马达 64 的速度, 从而控制风扇 65 的排气量。送风机的速度始终调节到产生所需的停留时间。例如, 在进行的实验中, 在 2 英寸厚的催化性网格上, 约 70 英尺/分的空气速度可产生良好的消毒和杀灭率。

图 14 是具有正方形空气通道的蜂窝型结构的催化性插入物。图 15 是具有圆形或椭圆形通道的催化性插入物。可用其他几何形状替换图 14 和 15 中显示的结构。催化性插入物内涂布有催化剂的表面积可如图 17 所示, 通过加入涂布有催化剂的翼片而增加。也可使用褶皱表面。催化性插入物可以由塑料、纤维、金属和其他材料制成。网格或衬套的表面积将取决于污染物的预期浓度, 可根据所涉及的装置凭经验加以确定而无需过多的实验。

循环空气的相对湿度也很重要。空气的相对湿度水平对杀灭微生物是决定性的, 其水平必须能在用 UV 光照射光催化剂时, 微生物与光催化剂接触后有效地使至少一部分微生物由于光催化氧化而被杀灭, 即相对湿度应在约 40 % 以上。相对湿度较好地约在 40 - 70 % 之间, 更好地在约 50 - 60 % 之间, 最好约为 50 %。

参见图 1, 沿管道 18 的长度配置的是增湿器/去湿器单元 50 (Sun Chemical 公司生产的 SUN 13 型), 它由 Mamac 公司生产的 HV - 2222 型检测器探头控制。若检测器 52 检测到空气的相对湿度小于 50 %, 则启动喷水或喷雾单元 54, 令其以细雾的形式向气流中喷入足够的湿气, 将相对湿度提高至约 50 %。若相对湿度超过 70 %, 则用此处用冷却盘管 56 表示的去湿器系统除去湿气。盘管 56 可以是单独的单元, 但在许多情况, 可利用单元 14 的盘管。也可设置单独的备用盘管 58。可用图 1 所示的冷却盘管或其他惯用技术 (例如干燥剂除湿) 将水凝聚, 由此实现空气去湿。

选择相对湿度和流速的要求是, 应能完全杀灭空气中的微生物。在我们的实

验中，当相对湿度为 50 %、空气在循环风道的 2 英寸厚的催化性网格之上通过的速度约为 70 英尺/分时，可完全杀灭空气中的微生物。在本发明中，杀灭的微生物的定义为：被完全杀死的微生物，不包括仅被打昏、休克或其他的不能活动但能复活的微生物。

5 图 1 揭示了主反应器 21 和分支反应器 22。在较小的装置中，将仅使用反应器 21。在较大的装置中，将仅使用反应器 22。他们合并在图 1 中以显示也可使用它们的组合。

反应器可自身具有独立的相对湿度和流速控制装置，这样，每个反应器作为独立的光催化设备进行运作。或者，可使各反应器适应于它安装在其内的 HVAC 系统的相对湿度和流速控制，由此将 HVAC 系统转换成本发明的装置。在这样的
10 情况下，反应器将基本上由催化性插入物和用于照射其表面的 UV 光源组成。这些设备的光催化剂涂层表面积，最好调节至在 HVAC 系统的相对湿度和空气流速的条件下，能提供与循环空气的足够接触以将空气中所含的至少一部分微生物杀灭。

15 图 4、5 和 6 揭示了在单个反应器 22 内的灯和催化剂位置的各种实施方式。图中只示意地表示了 UV 灯 24。可用任何常用的方式支承灯，使 UV 射线照射在它们的各自的催化表面上。

图 4 是矩形衬套催化性插入物 29 位于管道区段之内的反应器 22。其内表面涂布有数字 31 表示的 TiO_2 。

20 图 5 是具有以下结构的反应器 22：催化性插入物为衬套 29 和 29'，它们在管道之内；在它们之间有一排（或几排）UV 灯 24 位于滤器/网格 28 的相反侧。UV 灯 24 横放在管道内。

若合适，反应器 22 的滤器/网格 28 可以是能捕捉生物气溶胶的过滤介质。最好在所有系统中使用这样的过滤介质，它将令空气充分流动而没有过大的压力下降。能捕捉生物气溶胶的滤器包括 HEPA 滤器、静电滤器和微孔滤器。通过用光
25 催化剂涂布迎着气流的过滤介质表面，在相对湿度能有效产生光催化氧化的条件下用 UV 光照射光催化剂将杀灭被滤器捕捉的生物气溶胶中至少一部分微生物。这样，使过滤介质捕捉的气溶胶得以净化，从而延长滤器的有效寿命。

30 图 6 是具有以下结构的反应器 22：一系列细长的 UV 灯 24 横放在管道内，与过滤介质催化性插入物 28 相邻。

图 9 是反应器的横截面，它显示了在催化性插入物的衬套 29 之内，沿管道周界配置并与滤器 28 相邻的 UV 灯 24。

本发明还提供这样一种方法，在该方法中，通过用光催化剂涂料涂布管道内壁，使管道区段产生涂布有光催化剂的表面。然后将 UV 灯安装在管道中以照射
35 涂布有光催化剂的管道内壁。

用于照射催化性插入物的 UV 灯装置可以固定在管道壁上。图 18 是固定在壁

上的灯装置 128，镀铝的反射镜 122 将灯 124 发出的 UV 光反射。图 19 说明固定在壁上的装置 120 与涂布有光催化剂的插入物 126 之间的关系。

反应器还可安装在 HVAC 系统的空气供应调节器中。图 22 和 23 显示了适合这样的安装的单元的细部。当空气从 HVAC 系统中流出时，它不直接进入房间，而首先使其流过调节器 210，用本发明的光催化消毒方法进行处理。该单元基本上由催化性插入物 212、UV 光源 224 和空气出口 220 组成。可使用单个或多个出口，这取决于所需的停留时间。催化性插入物的内表面涂布有光催化剂。UV 灯由电池或电源（未标出）运行。

调节器的 UV 灯 224 和催化性插入物 212 是可移动式的。图 4 - 6 的反应器中任何催化性插入物均适合与调节器 210 一起使用。

可在管道系统之外独立地采用本发明的要点。这样的独立单元 80 见图 7。该单元 80 包括具有进口 84 和出口 86 的壳体 82。处于进口和出口之间的是容器 88，它包括控制风扇 90、增湿器 92、去湿器 93、用于驱动风扇 48 的风扇马达 64 和催化性插入物 96，从一系列 UV 灯 98 发出的 UV 光即照射在催化性插入物 96 上。空气速度检测器 99 确定气流排送量。在壳体 82 上面有第二容器 100，它是用来封闭微处理器 102 的。用于单元 80 的电源经电线 104 和 106 通过控制处理器 102 供给至系统。若通过单元 80 外面的空气调节系统能确保适当的湿度，单元 80 可无需其自己的湿度控制系统进行运转。或者，独立单元可与增湿器或去湿器串联起来进行运转而不偏离本发明的方法或设备。若在单元 80 的设计和建造中采用与壳体 82 的截面面积相配的恒定空气流速风扇 48，以提供所需的空气在催化剂上面流过的停留时间，独立单元 80 还可在无空气速度检测器 99 的情况下进行运转。

独立单元 80 可由轮 108 支承，这样，它可在室内容易地移向最适合促进气流在整个房间中循环的位置。此外，可将独立单元用作房间的排气单元，在该单元中有人希望经处理后再排向大气的有害烟气。例如，在油漆车间或其他工厂中，可将独立单元 80 安装在屋顶或任何外墙上，或可以与室内空调器相同的方式将其改装成窗支承式的。不管怎样，在将受污染的空气排入大气之前先将其净化。

独立单元的控制和操作与前面描述的相同。当接通电源后，风扇 48 便将空气抽入进口 84。颗粒预滤器是用来保持独立单元的内部不受污垢污染的，因为污垢会损害有涂层的网格 96 或有涂层的衬套（若衬套与网格组合使用的话）。颗粒预滤器可以是 HEPA 型的、静电型的或其他市场上有售的装置。与安装在 HVAC 系统的管道中的装置不同，颗粒预滤器可以与独立单元一起使用，因为在这些独立单元中，与预滤器相关的压力下降是可以接受的。或者，若空气中颗粒很少，也可省去预滤器。在风扇开始旋转时即同时照射 UV 光 98。

检测器 44 将测量空气速度，所得信息输入至微处理器 102。然后微处理器将

调节风扇的旋转速度以确保通过涂布有 TiO_2 的表面（不论是衬套还是网格）时受到 UV 光照射的空气有适当的停留时间。

在进行上述操作的同时，用单元 101 监测进入的空氣的湿度，所得数据输入微处理器中。若空气湿度在 40 % 以下，则湿润装置即增湿器 92 启动，直至相对湿度达到 50 %。若空气相对湿度在 70 % 以上，则去湿器（此处利用了加热盘管 93）启动，直至相对湿度降至 50 %。

图 8 是独立单元的垂直的实施方式。这里，颗粒/气溶胶滤器 118 将空气预筛。一系列 UV 灯 98 位于与涂布有催化剂的衬套即表面 100 的对面。

同样，风扇速度由接受来自检测器 44 的输入的微处理器通过马达 64 进行控制。湿度用与图 7 中所述的相同方式进行调节。

如图 11 和 12 中所示，可使本发明的独立单元适合容纳图 4 - 6 的反应器。图 11 的基本独立单元 180 包括具有进口 184 和出口 186 的壳体 182。处于进口和出口之间的是容器 188，它包括控制风扇 190 和用于驱动风扇 148 的风扇马达 164。所述独立单元在无空气速度检测器的情况下运转，在该单元的设计和建造中改为采用与独立单元壳体的截面面积相适应的恒定空气流速风扇以提供所需的空气在催化剂上面流过的停留时间。图 12 是还包含增湿器 192 和去湿器 194 的独立单元，旁流/分流器 204 由微处理器 202 控制。微处理器 202 控制旁流/分流器，根据由微处理器测得的进气湿度令进气进入增湿器、去湿器或直接进入容器 188。UV 灯装置 228 照射容器 188 内的催化性插入物 212。图 6 显示了图 11、12 和 14 中的 UV 灯装置 228，水平排列的 UV 灯 224 排列在用于插入图 14 的蜂窝型结构物的框架 228 上。

图 15 是用于反应器的催化性插入物 212，在该反应器中，用位于插入物外部的 UV 灯装置照射插入物。图 14 是反应器 222，在该反应器中，UV 灯装置 228 位于催化性插入物 212 之内。

如前面所指出的，图 11 和 12 的独立单元适合容纳图 4 - 6 的反应器。图 13 是因为加入了预滤器 238 而尤其适合与独立单元一起使用的反应器，包含预滤器 238 的该反应器由于其所产生的压力下降而不适合与大多数 HVAC 系统一起使用。该反应器还包括催化性插入物 212 和涂布有光催化剂的后滤器 230。后滤器可用活性炭或其他适合吸收 VOC、异味等的材料涂布或浸渍。

图 14 是具有正方形空气通道 231 的蜂窝型结构的催化性插入物 212 和嵌入该催化性插入物之中的灯装置 228。这样的插入物适合与图 11 和 12 的独立单元一起使用。图 17 是另一种适合于图 11 和 12 的独立单元的催化性插入物。该催化性插入物 212 具有带翼片的通道 226，带翼片的通道起增加催化表面积的作用，从而在相同空气流速和可用总空间的条件下增加停留时间，图 17 中的翼片 226 是矩形的，但它们可变形为任何结构以控制每单位催化面积上的停留时间。

图 20 和 21 是其他用于图 11 和 12 的独立单元的圆形催化性插入物。在图 20

中,催化性插入物 212 的褶状表面 251 受到安装在催化性插入物内部的 UV 灯 224 的照射。若需要,可在催化性插入物周界或其他位置安装另一些灯,只要这些灯发出的 UV 光入射在催化剂上即可。图 21 的催化性插入物 212 中,塑料条 253 具有涂布有催化剂 231 的平面 252。

5 图 15 是具有圆形或椭圆形空气通道 232 的管状结构的催化性插入物 212。该插入物不包含 UV 灯,供与图 11 和 12 的独立单元一起使用,在图 11 和 12 的独立单元中,UV 灯装置 228 位于涂布有光催化剂的插入物 212 外面的容器 188 中。

10 下面的实施例进一步描述本发明,但这些实施例不应认为是对本发明范围的限定。所有的份数和百分比均以重量表示,除非另有说明,所有的温度均以摄氏表示。

实施例

材料和方法

15 进行光解和光催化实验以确定催化的 UV 照射对承载在空气中的微生物的效果。通过试验,找到了可在琼脂平板上产生合适菌落数的粘质沙雷氏菌的正确稀释倍数。将 20 毫升稀释过的粘质沙雷氏菌培养液移至喷雾器中,喷雾器用 99.999% 纯的压缩氮气操作,压强为 30 - 40 磅/英寸²。

20 实验装置由反应器试验区段、循环管道和送风机组成。管道最初 4 英尺的横截面是矩形。该区段与喷雾器连接,其中的一个喷雾器含稀释过的粘质沙雷氏菌培养液,而另一个含纯净的去离子水。

确定通过喷雾器的合适的空气流率,以使气溶胶不落在管道表面。将热电偶和压力计接口与该区段连接,以分别测量进入反应器之前的气流温度和在通过反应器时的压力下降量。

25 装置的第二区段由反应器区域组成,在该区段,内置了 24 支 UV 灯和一个与气流成垂直方向的涂布有二氧化钛的 Fiberglass 滤器。该区段长 32 英寸,截面面积为 400 英寸²。

30 所用的 UV 灯是低压汞灯 (Southern New England RPR-3500A 型),输入能量为 14 瓦。每个灯发出约 1.5 瓦的 UV 射线,射线波长主要在 350nm。UV 光是通过在不同距离放置与 UV 灯成垂直方向的 Eppley 辐射计 (TUVB 型) 而测得的。

在离反应器一英尺的地方采取空气试样。用牢固地放置在架子上的 4 个培养平板在 30 秒钟时间里捕捉活微生物。将热电偶与该区段连接以测量温度。

35 管道的循环区段由直径为 1 英尺的圆形管道组成。将湿度探头与该区段连接以测量气流的相对湿度。装置的最后部分是送风机,它与圆形横截面的管道和矩形横截面的管道连接。循环试验装置的总长度为 29.5 英尺。

用平板计数用琼脂制备培养平板,选择平板计数用琼脂是因为它含海藻提取

物，并添加了一些营养素，满足粘质沙雷氏菌生长的营养要求。

培养平板的制备方法为：用电子称称取足以配成半升溶液的琼脂粉末。将琼脂粉末（11.75g）倾入含 500mL 去离子水的烧瓶中。用磁力搅拌器和加热器将溶液混合和加热 10 - 15 分钟。待琼脂粉末完全溶解后，用铝箔覆盖烧瓶以防止其受空气污染，将烧瓶放入高压蒸汽灭菌器中，杀菌 30 分钟。

杀菌后，让琼脂在 50 °C 的水浴中冷却 10 分钟。在使用之前用异丙醇清洗过的层流净化罩中用无菌技术将琼脂倾入培替氏培养皿中。将 500mL 琼脂倾入若干个培替氏培养皿中，让其完全覆盖培养皿底部。让培养皿在无菌罩中凝结 24 小时，成为凝胶，然后将培养皿倒置地储藏在冷藏库中以防止冷凝液与琼脂接触。在 48 小时内使用琼脂平板以防止低水平污染。

在标准的 16 × 25 × 2 英寸的 Fiberglass 空调用过滤器上涂布 TiO₂，制备涂布有二氧化钛的 Fiberglass 滤器。所用的 TiO₂（Degussa P25）主要是锐钛矿，BET 表面积为 50m²/g，平均粒径为 21nm。

将 50 克 TiO₂ 粉末与去离子水混合，配制成 TiO₂ 稠料浆。将含稠 TiO₂ 料浆的烧瓶放置在磁力搅拌器上，使 TiO₂ 溶液充分混合。用泡沫刷将 TiO₂ 涂布在滤器的两侧。让滤器干燥 6 小时，然后再在滤器上涂布一层 TiO₂。待滤器完全干燥和 TiO₂ 粘牢后，将滤器放置在循环管道中。将在适当位置上放置有具有 TiO₂ 涂层的滤器的反应器表示为结构 A。

用表面具有涂层的反应器结构（结构 B）代替 Fiberglass 滤器结构（结构 A）进行了若干实验。使用表面有涂层的反应器是为了增加反应面积。涂布有 TiO₂ 的面积约为 720 英寸²。管道的涂布方法为：按上述方法制备 TiO₂ 料浆，用泡沫刷将 TiO₂ 料浆涂布在管道表面上。用空气加热枪干燥表面。8 小时后，再次涂布表面并用空气加热枪干燥。

测定相对湿度和 UV 强度参数以确定杀灭细菌的最佳条件。湿度的变化范围在 30 - 85 % RH 之间，UV 强度的变化范围在 20 - 100W/m² 之间。

在湿度实验中，将去离子水成雾状喷入管道中，增加空气湿度。将管道内气流恒定地保持在 74 英尺/分，UV 恒定地保持在 100W/m²。将湿度探头（Mamac 湿度传感器）与管道连接以监测管道内气流的相对湿度（RH）。将以二氧化硅为基的干燥剂材料放置在管道内以在需要时降低湿度。

打开送风机，让其在培养液雾化之前稳定 10 - 20 分钟。在采取最初的试样之前，令喷雾器中所有液体细菌培养液完全雾化和稳定。采取最初的试样之后，打开 UV 灯，记录最初的温度和湿度数据。每隔预定的时间用琼脂平板收集 4 个试样。将琼脂平板在受污染的气流下暴露 30 秒钟以收集细菌。将在上述时间间隔中收集的试样保持在较无菌的环境中以避免在实验过程中被污染。实验结束后，将试样在温度为 30 °C 的细菌培养器中倒置地放置 24 小时进行培养。24 小时培养结束后，用带放大镜和格子线的菌落计数器对细菌菌落计数，菌落计数器带放

大镜和格子线是为了有利于对细菌菌落精确计数。

待实验结束后，清洗管道以避免污染。用喷雾器将甲醛溶液成雾状喷入管道中净化管道。令送风机在不透气的管道中运转 2 小时。该过程结束后，在开始下一组实验之前，让管道顶部在外部空气下暴露 12 小时。

5

实施例 1

相对湿度的影响

在相对湿度为 30 %、50 % 和 85 % 的条件下进行光解（仅 UV、无 TiO₂）和光催化实验。图 24 - 26 分别说明在 30 % RH、50 % RH 和 85 % RH 的条件下粘质沙雷氏菌通过光解和光催化被杀灭的情况。在 30 % RH 的条件下，在光解与光催化之间未观察到显著的差异，微生物未被完全杀灭。这可能是由于没有足够的 H₂O 将必需的羟基和过氧化物转移给细菌所致。在 30 % RH 的条件下，可以推断出，细菌被杀灭大部分是由于 UV 光子攻击细菌（光解）所致。在 50 % RH 的条件下，光解和光催化的最初 3 小时的杀灭率相同；但 3 小时后，光催化的杀灭率大很多，其结果，细菌在约 13 小时内灭活。

15

将 RH 进一步增大至 85 % 以确定进一步增加水汽是否能提高杀灭率。但 RH 的增大并未提高杀灭率。一个可能的解释是，高湿度可能招致微生物复活。在 30 %、50 % 和 85 % RH 的条件下光催化效力的比较见图 27。细菌杀灭的数值见下面的表：

20

在各种湿度条件下的估计致死剂量

光 解 实 验			
RH	LD ₅₀ W · min/m ²	LD ₇₅ W · min/m ²	LD ₁₀₀ W · min/m ²
30 %	1660	3320	- - - -
50 %	1470	3870	- - - -
85 %	1900	5010	- - - -

25

用结构 A 进行的光催化实验

RH	LD ₅₀ W · min/m ²	LD ₇₅ W · min/m ²	LD ₁₀₀ W · min/m ²
30 %	1643	3310	- - - -
50 %	1210	2178	6092
85 %	1107	1660	- - - -

用结构 B 进行的光催化实验

RH	LD ₅₀ W · min/m ²	LD ₇₅ W · min/m ²	LD ₁₀₀ W · min/m ²
30 %	2215	5530	- - - -
50 %	870	1190	876

注： 1. 剂量 = UV 强度 · 时间

2. 虚线表示未出现 100 % 杀灭的情况

如上面的表中所示，用结构 B 重复湿度实验。由于该结构中光催化表面积较大，达到所示杀灭水平所需的 UV 能剂量较小。在任何 RH 水平，均未能通过单独使用光解而实现 100 % 杀灭细菌。在结构 A 和 B 中，均仅在 50 % RH 水平实现了 100 % 杀灭细菌。在结构 A 和 30 % RH 或 85 % RH 的条件下或者在结构 B 和 30 % RH 的条件下均未能实现 100 % 杀灭细菌。对在 50 % RH 条件下的结构 A 与结构 B 以及光解（仅 UV）的比较结果见图 28。

10 实施例 2

UV 强度的影响

在前述强度水平进行光催化实验。RH 保持在 50 %，空气流速为 74 英尺/分。结果见图 29。

这些结果表明，UV 强度越大，杀灭率越高。用 100W/m² 照射 8 小时后，光催化杀灭率开始稳定。至于较低的强度，杀灭率在照射 6 小时之后实际提高。这可能表明经过照射，细菌变得衰弱，6 小时后，即使在较低的照射水平也变得易受光子和羟基攻击。

因而，在 UV 照射下二氧化钛提高了微生物的杀灭率，在 50 % RH，杀灭率为 100 %。在低 RH（30 %），二氧化钛并不促进细菌杀灭率的提高。在较高的 RH（85 %），仍有 10 % 的生物活下来。

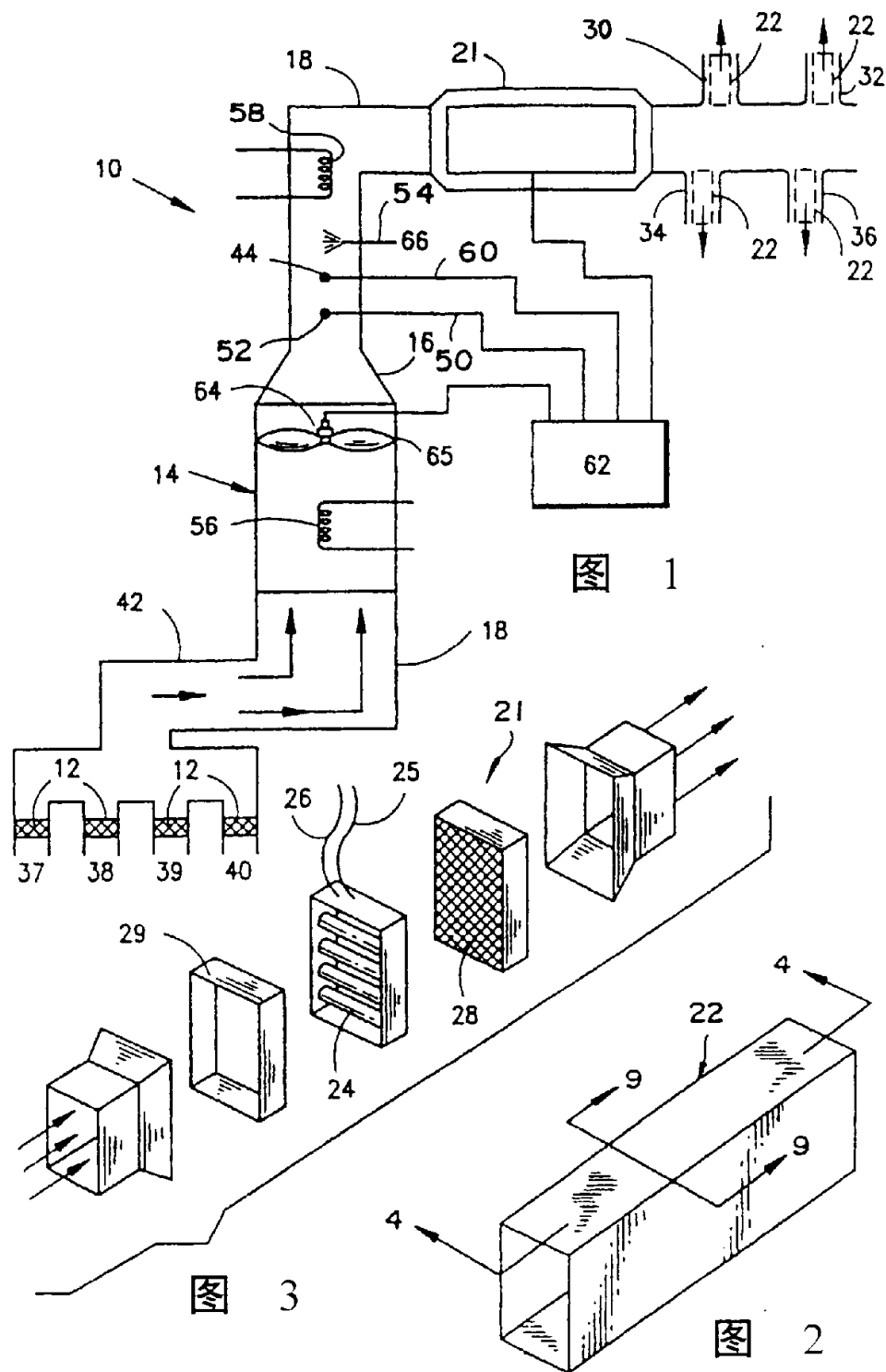
前述实施例和优选实施方式的描述应理解为是对权利要求书所定义的本发明的说明而非限定。本领域技术人员将容易地意识到，可利用本发明的上述特征进行各种变化和组合而不偏离权利要求书所定义的本发明的范围和实质。所有这些变化将被认为包括在下面的权利要求书的范围内。

25

工业上的可应用性

本发明的设备可用于对被微生物污染的建筑物和建筑物通风系统进行去毒。

说明书附图



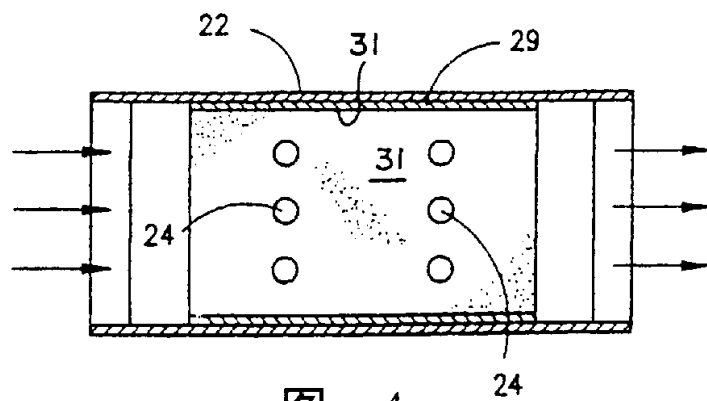


图 4

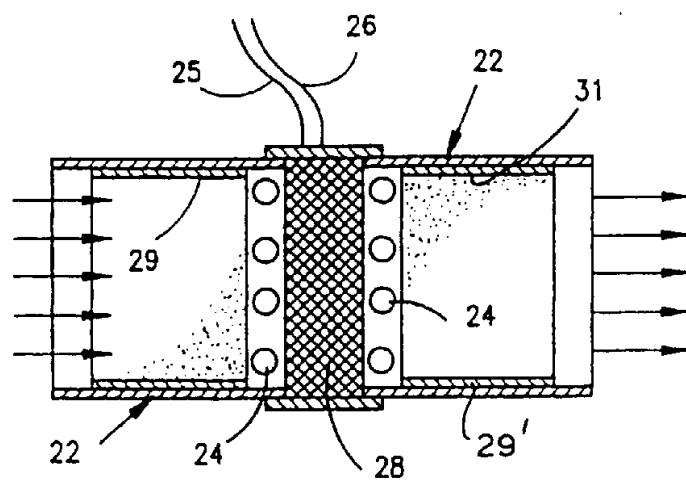


图 5

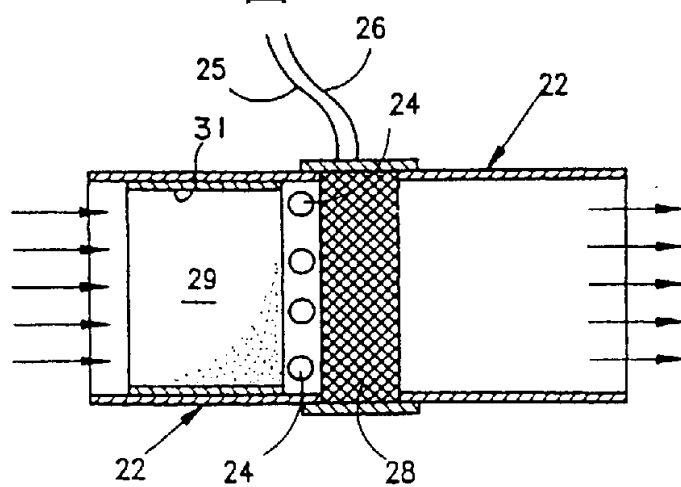


图 6

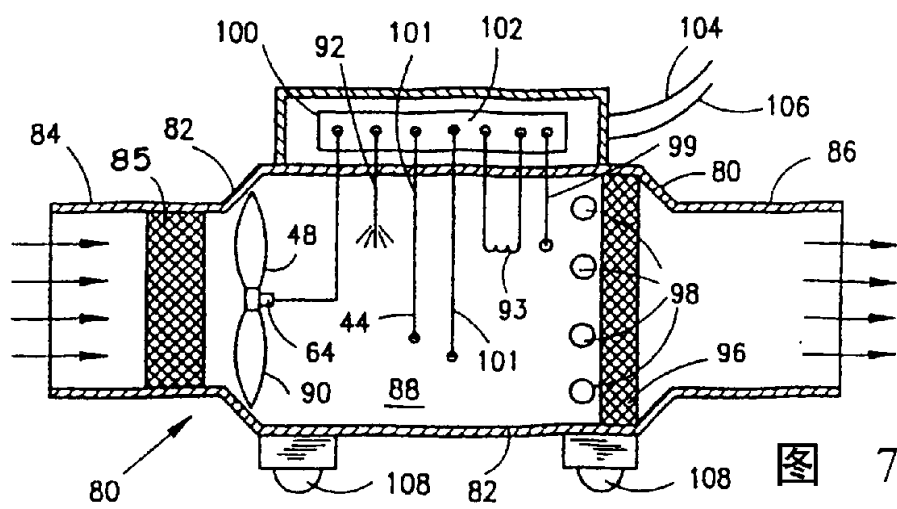


图 7

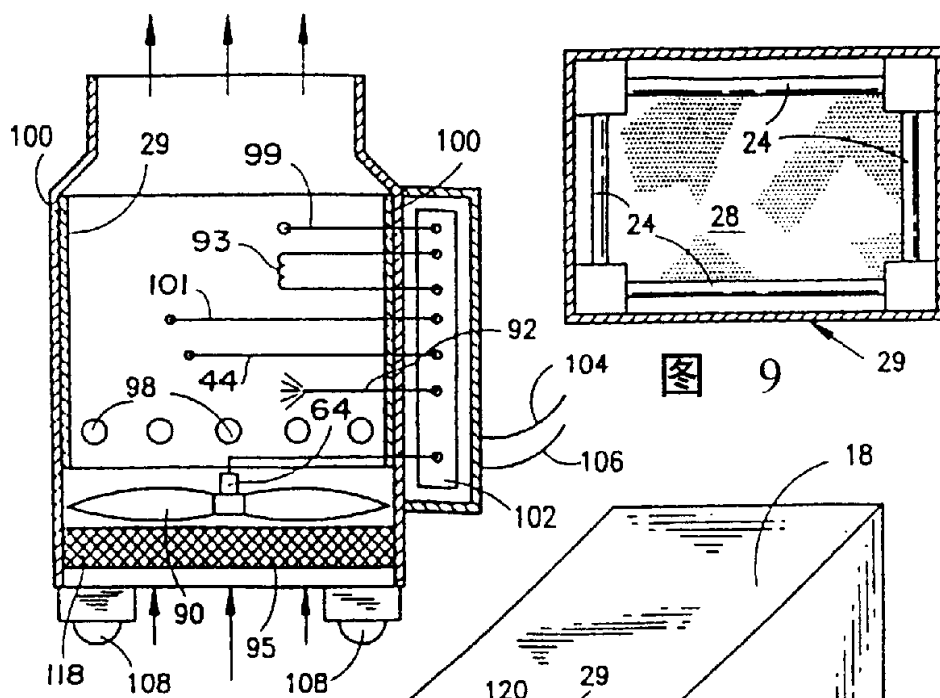


图 8

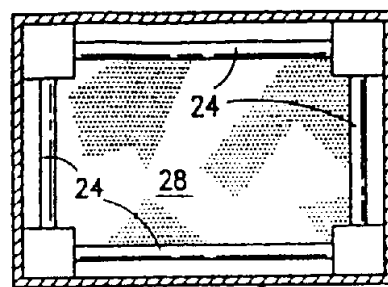


图 9

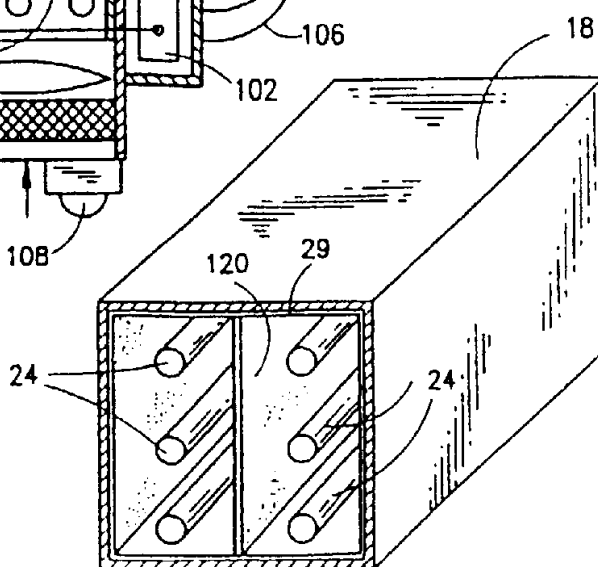


图 10

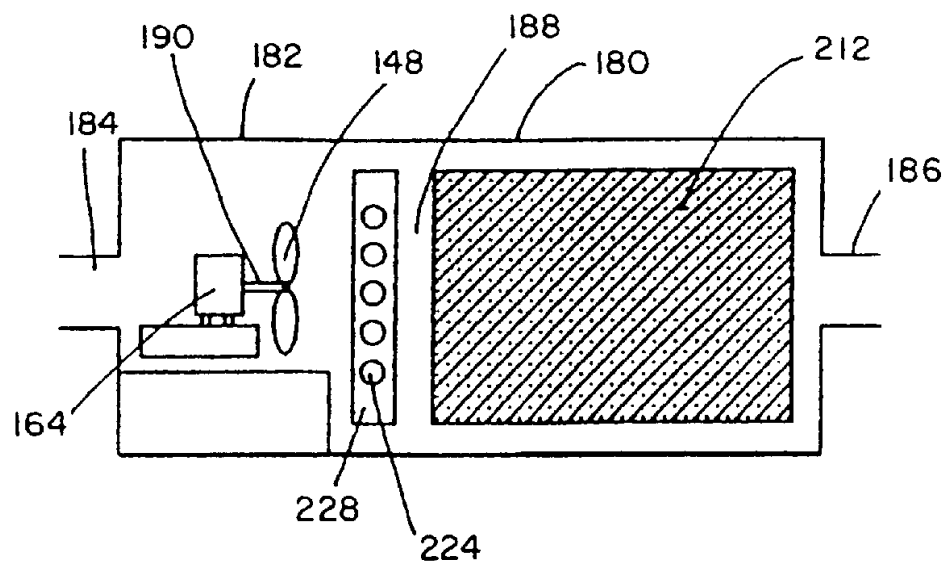


图 11

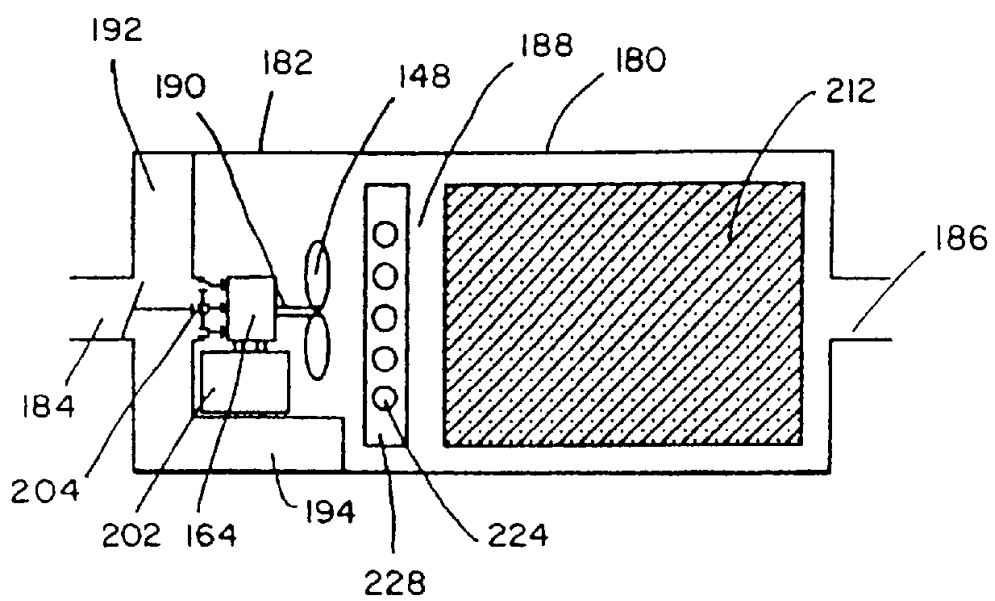


图 12

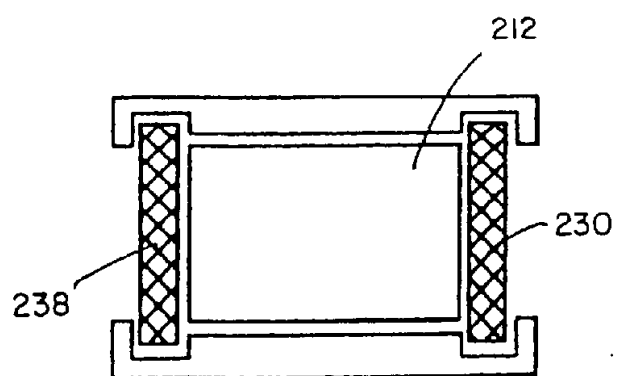


图 13

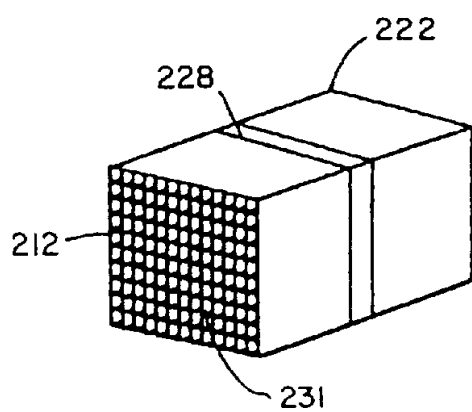


图 14

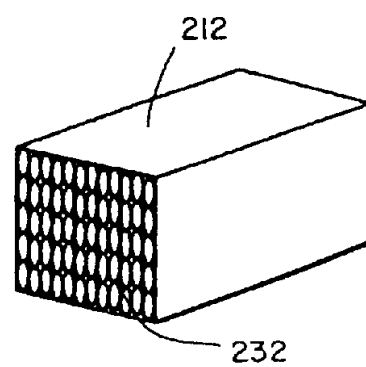


图 15

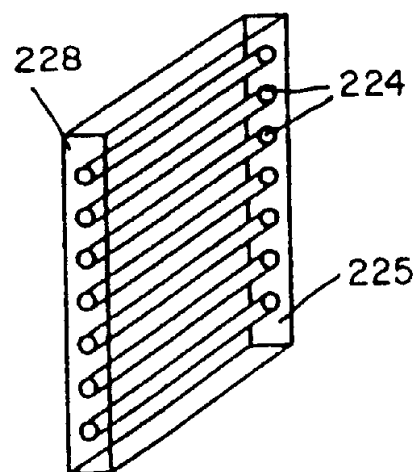


图 16

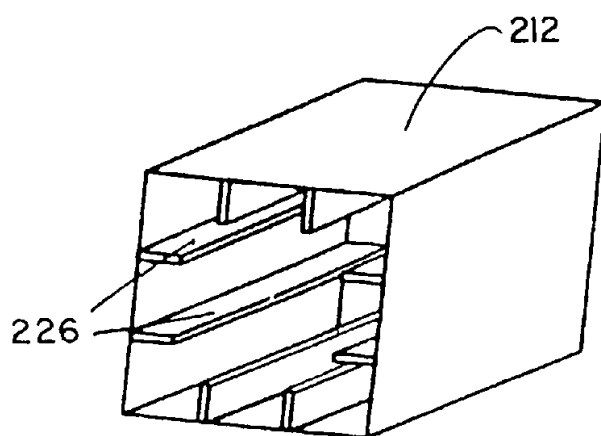


图 17

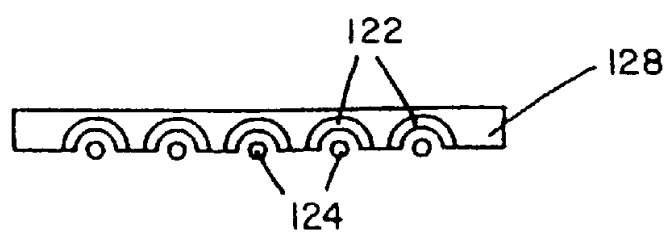


图 18

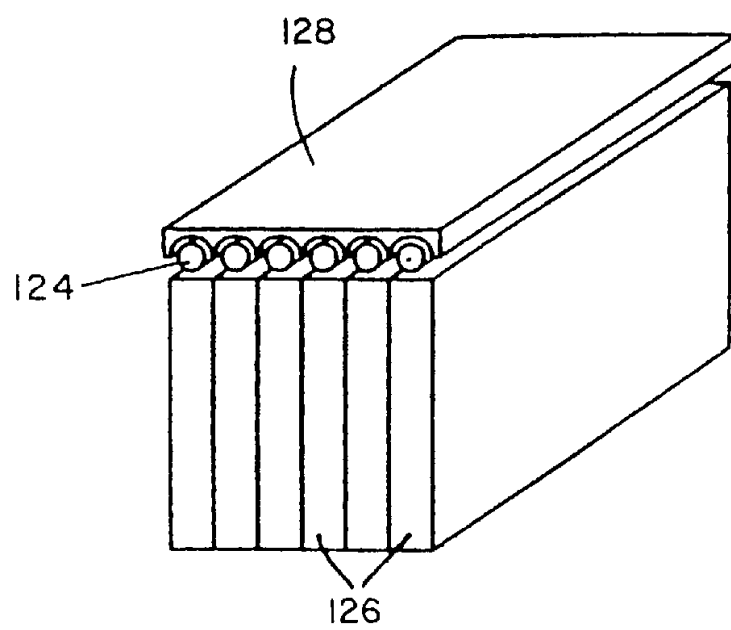


图 19

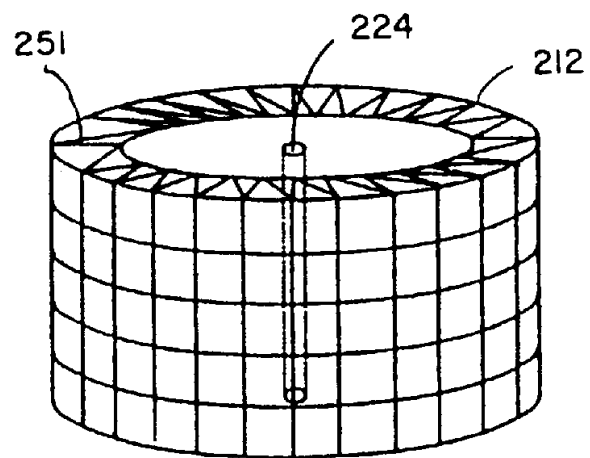


图 20

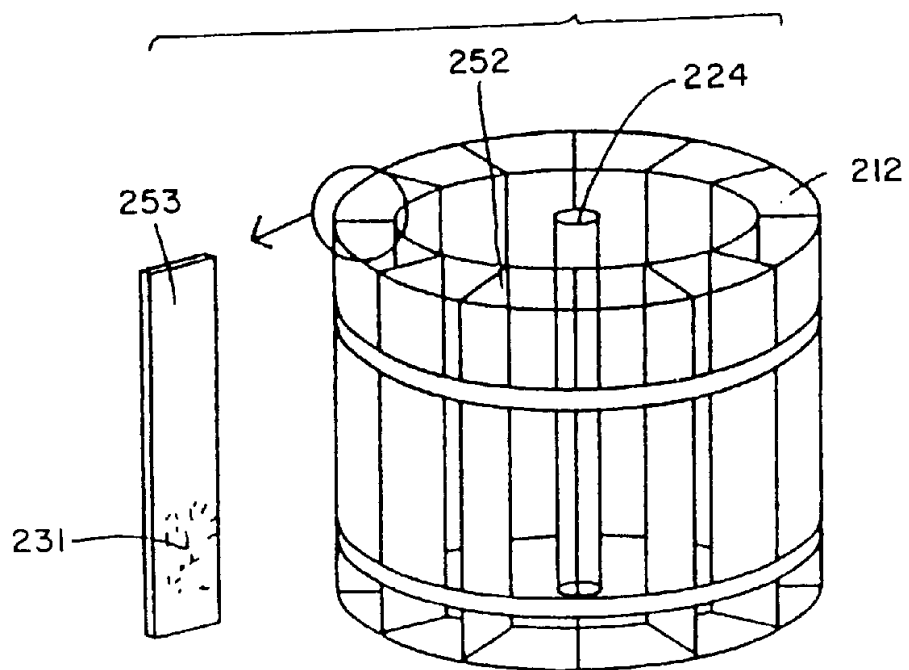


图 21

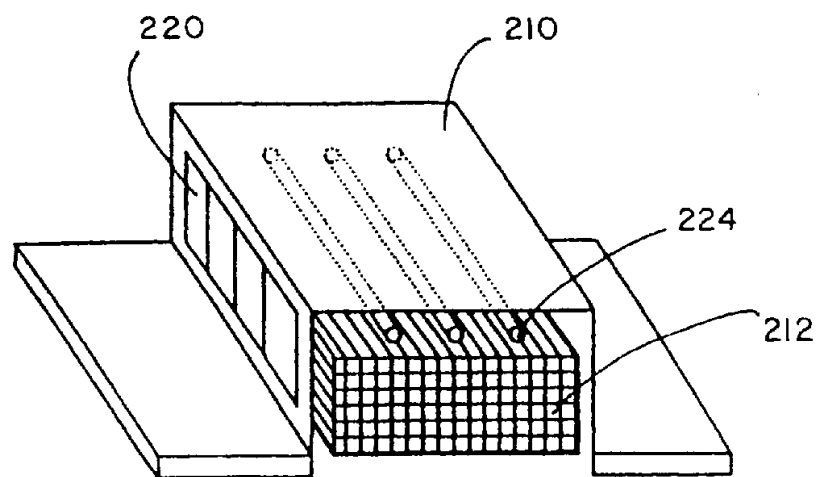


图 22

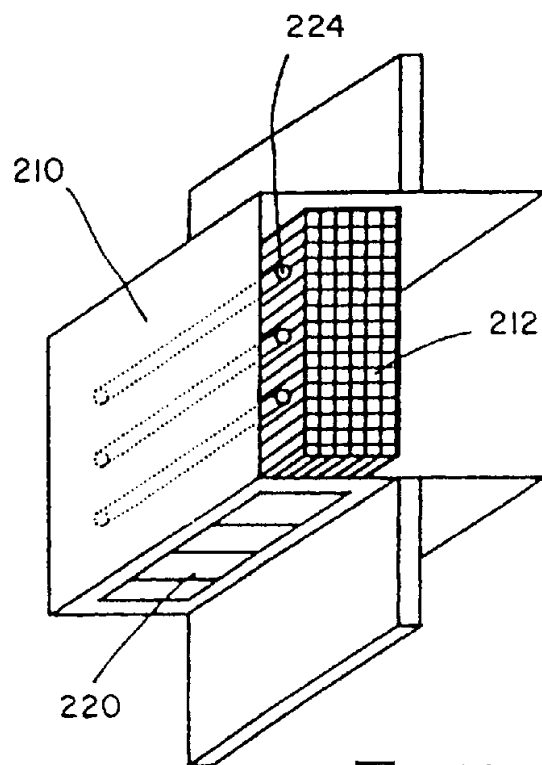


图 23

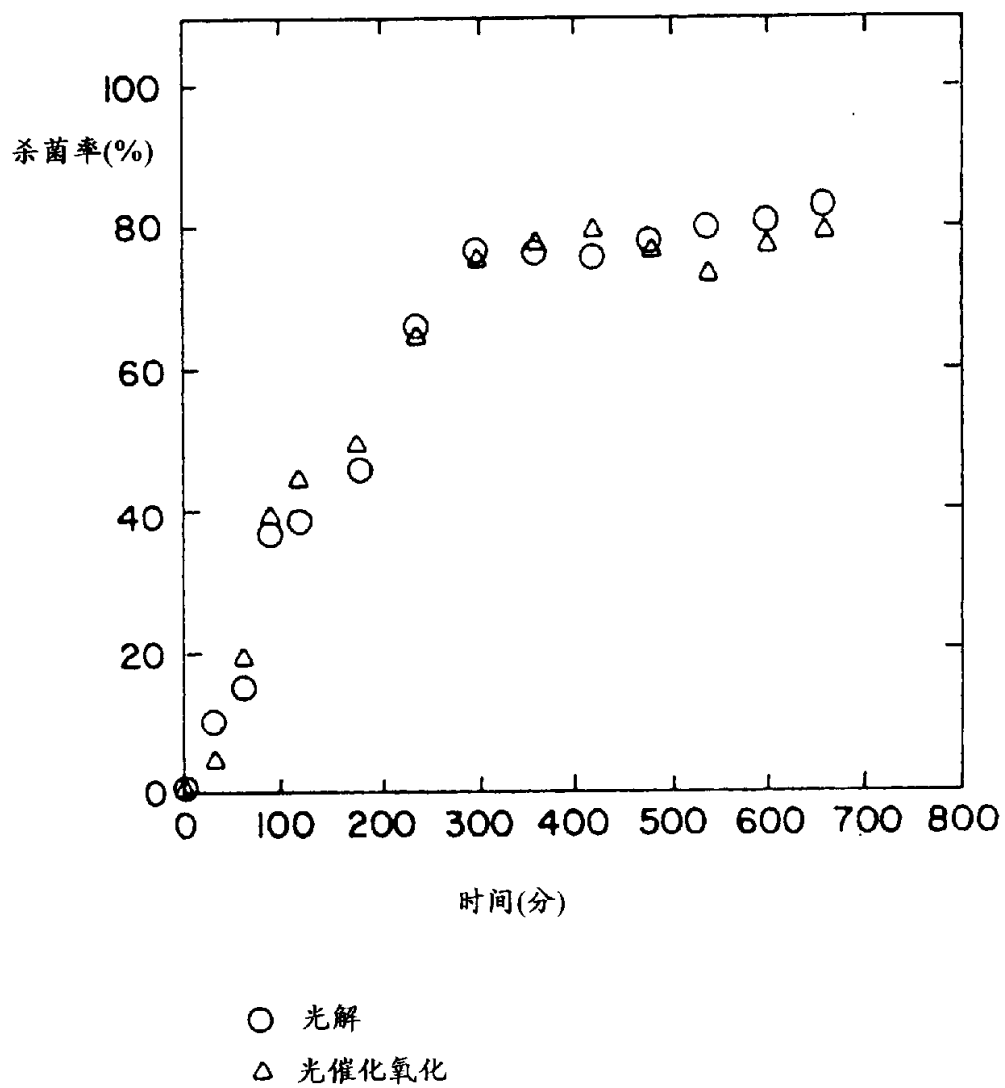
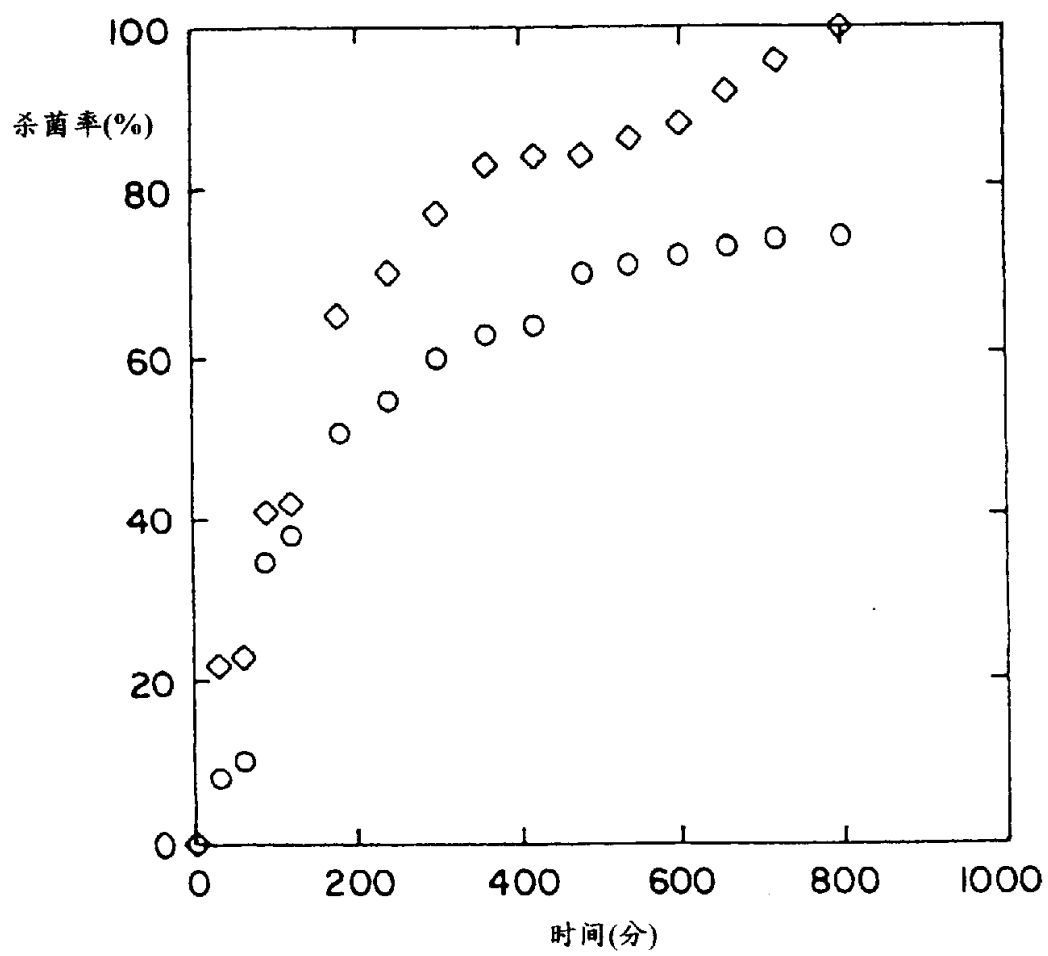
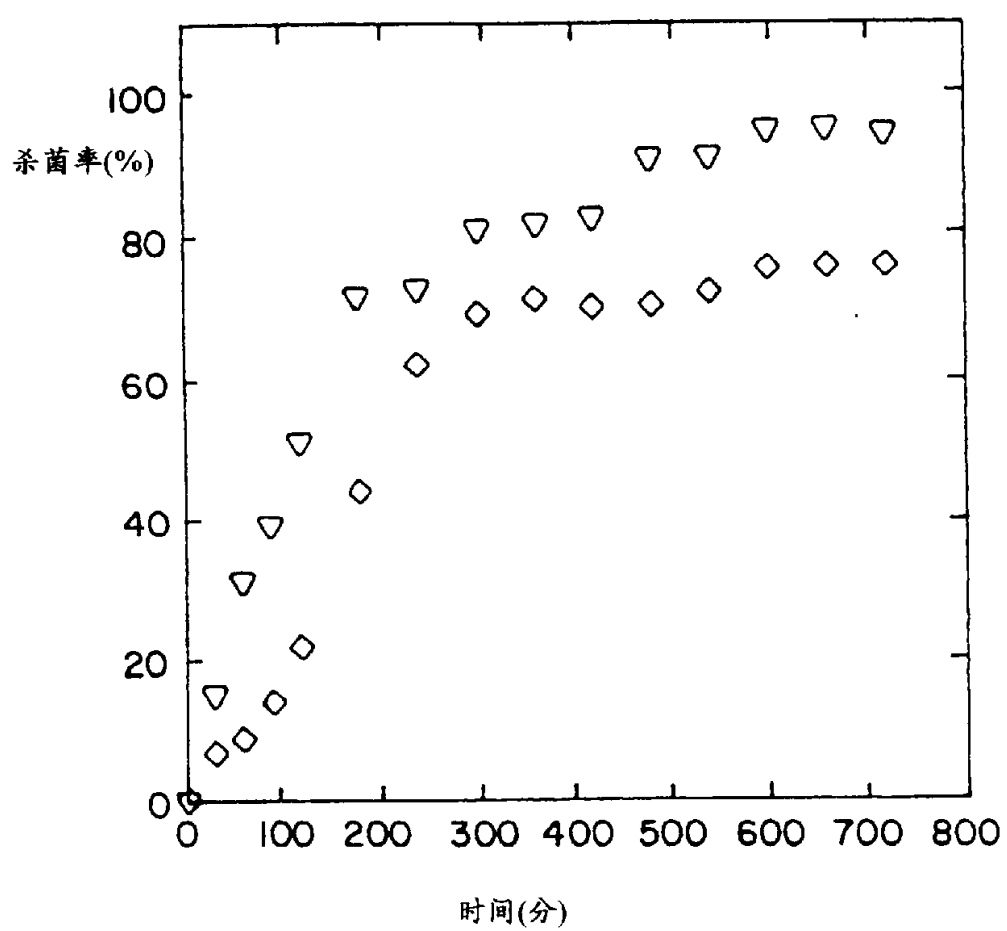


图 24



○ 光解
◇ 光催化氧化

图 25



◇ 光解
△ 光催化氧化

图 26

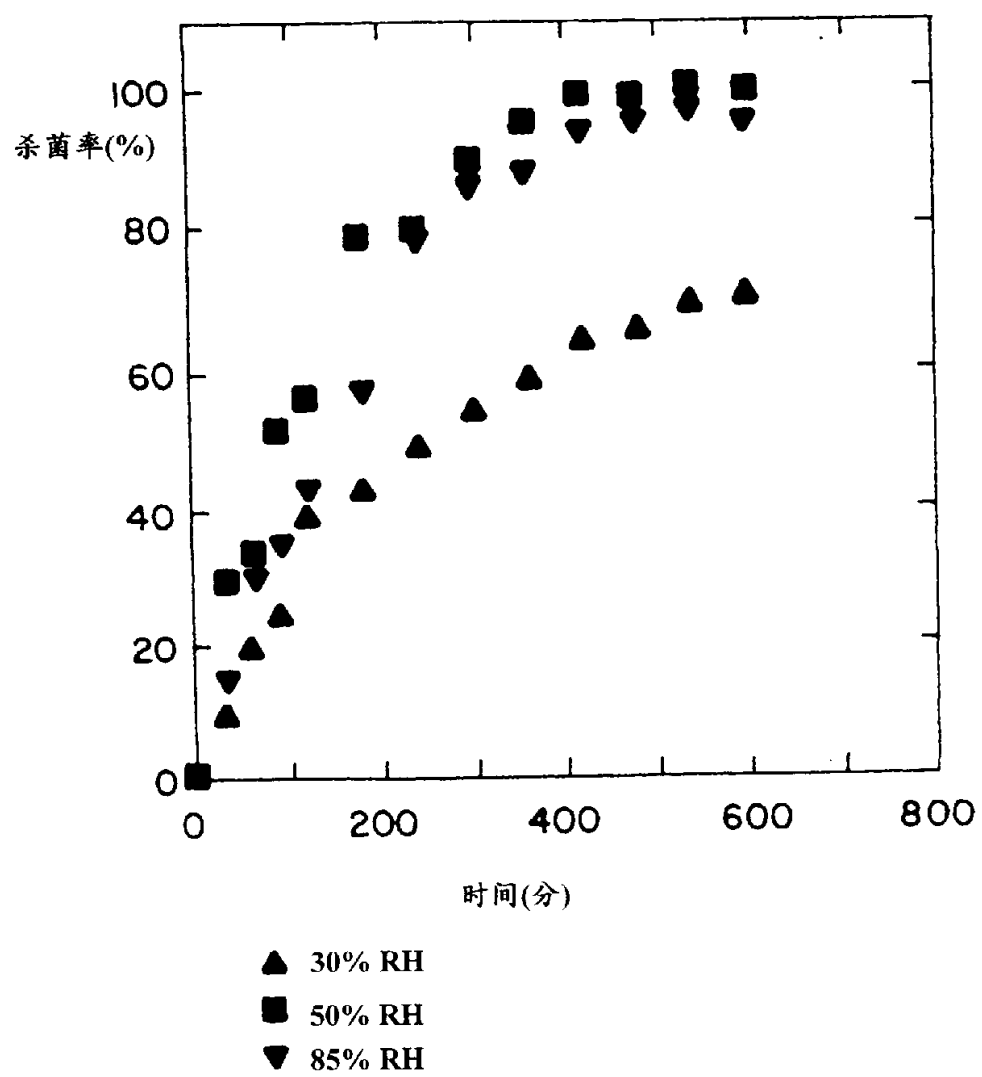


图 27

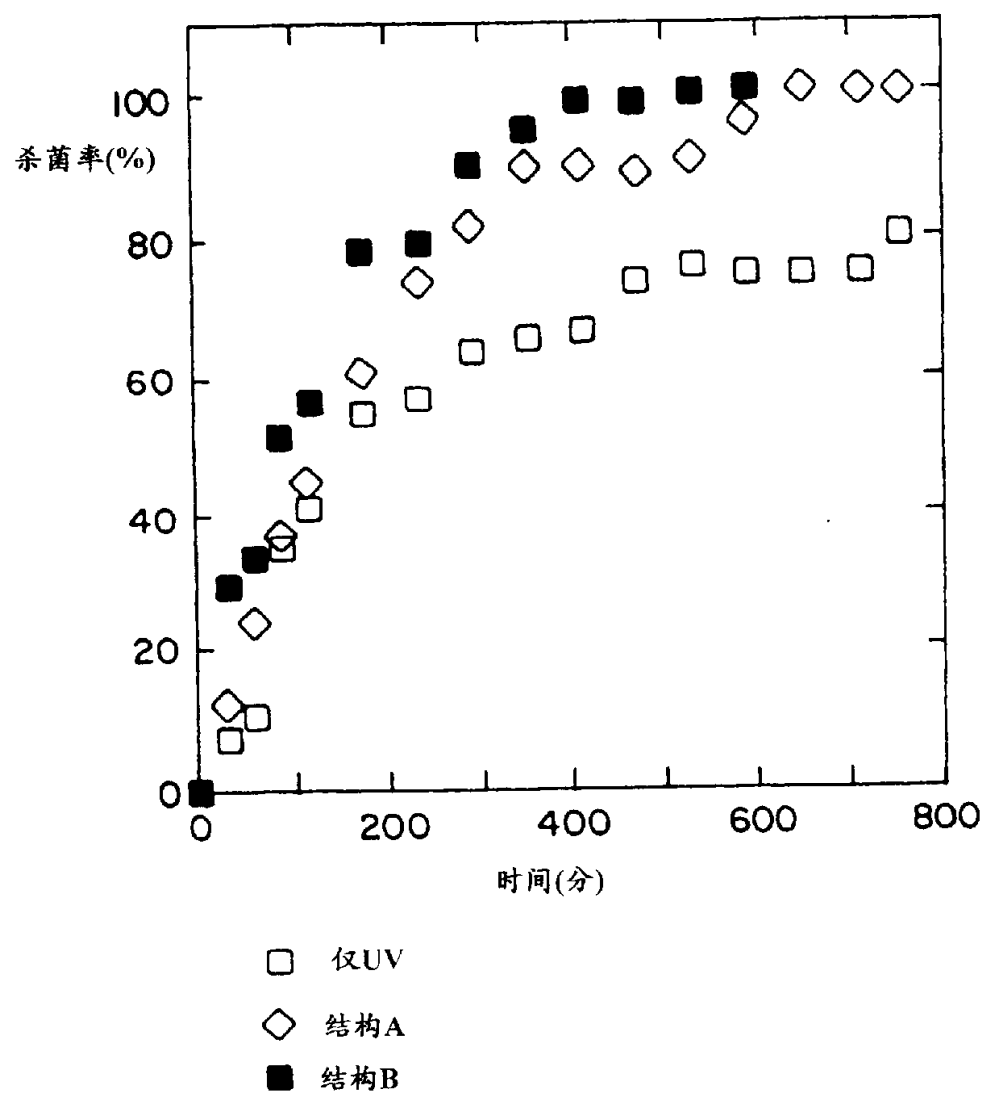


图 28

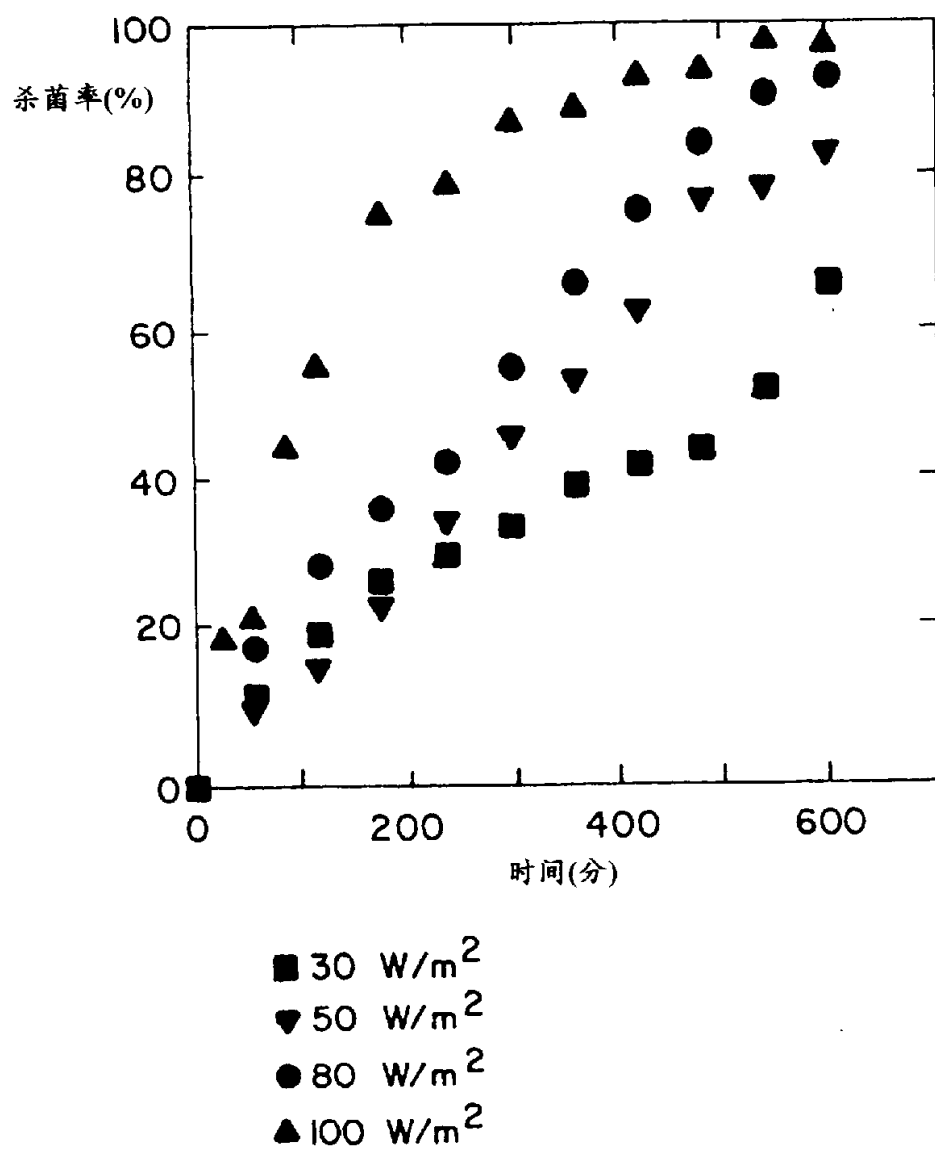


图 29