(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102344888 B
(45)授权公告日 2014.08.20

(21)申请号 201010248859.6

(22)申请日 2010.07.29

(73)专利权人 凯洛斯环球有限公司
地址 韩国首尔
专利权人 乙支大学产学协力团
金光浩

(72)发明人 金光浩 姜憙奎 权宁一 金善钟
林希贞 金美廷

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 梁谋 李炳爱

(51)Int.Cl.
C12M 1/42(2006.01)
C12R 1/89(2006.01)

(56)对比文件
CN 2234443 Y,1996.09.04,
US 2007231886 A1,2007.10.04,
WO 02086053 A1,2002.10.31,
US 2008220514 A1,2008.09.11,
CN 101575567 A,2009.11.11,

审查员 张茜

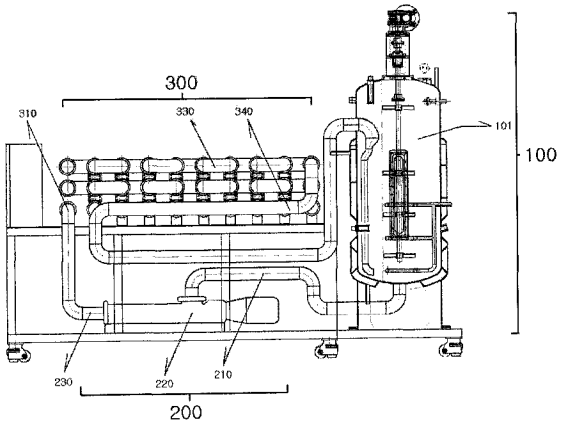
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

循环式光生物反应器

(57)摘要

本发明提供了循环式光生物反应器。该循环式光生物反应器包括第一培养部分、第二培养部分及连接第一培养部分和第二培养部分的泵部分。第一培养部分包括其中培养基被供应的培养罐,和偶联到培养罐的照射培养罐内部的第一光源。第二培养部分包括设置在培养罐外部且被从培养罐供应培养物的培养管,和偶联到培养管的照射培养管内部的第二光源。泵部分与第一培养部分和第二培养部分两者连接,以使培养溶液在两部分之间循环。



CN 102344888 B

1. 一种光生物反应器，所述光生物反应器包括：

第一培养部分，该第一培养部分包括其中培养基被供应的培养罐，和偶联到培养罐以照射培养罐内部的第一光源，其中该第一培养部分包括偶联到培养罐外部用于控制温度的水夹套；

第二培养部分，该第二培养部分包括设置在培养罐外部且被从培养罐供应培养溶液的培养管，和偶联到培养管以照射培养管内部的第二光源，其中该培养管具有包括笔直部分和弯曲部分的平行多折叠形式和包括多个沿培养管纵向方向偶联到培养管外部的第二光源，且该培养管在弯曲部分装配有氧气排放器；和

泵部分，该泵部分与第一培养部分和第二培养部分两者连接，以使培养溶液在第一培养部分和第二培养部分之间循环，

其中所述泵包括能够将培养管中培养液的流速控制在 10-40cm/s 之间的流速控制器。

2. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一光源设置在培养罐内部。

3. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一培养部分还包括与培养罐和泵部分两者连接的至少一个第一培养溶液进口和至少一个第一培养溶液出口，第二培养部分还包括分别通过泵部分与第一培养溶液出口和与第二培养溶液进口连接的至少一个第二培养溶液进口和至少一个第二培养溶液出口。

4. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一培养部分还包括用于将新鲜培养基供应到培养罐中的新鲜培养基进口和用于将培养溶液从培养罐中排放的最终出口。

5. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一培养部分还包括偶联到培养罐内部的用于混合培养溶液的搅拌器。

6. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一培养部分还包括用于控制培养罐中的压力的压力控制阀。

7. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一培养部分还包括一个或多个偶联到培养罐的传感器端口。

8. 权利要求 1 的光生物反应器，其中第一培养部分还包括偶联到培养罐以将气体注入培养罐的气体进口。

9. 权利要求 1 的光生物反应器，其中所述氧气排放器包括接地传感器、与接地传感器电连接的质量流量控制器和与质量流量控制器连接的阀门。

10. 权利要求 1 的光生物反应器，其中所述培养管的内径为 3-30cm。

11. 一种光生物反应器，所述光生物反应器包括：

第一培养部分，该第一培养部分包括其中培养基被供应的培养罐、第一培养基进口、第一培养基出口和第一光源，所述进口、出口和光源各自偶联到培养罐，其中该第一培养部分包括偶联到培养罐外部用于控制温度的水夹套；

第二培养部分，该第二培养部分包括以管状形状布置在培养罐外部并从培养罐供应培养基的培养管、第二培养基进口、第二培养基出口和多个第二光源，所述进口、出口和光源各自沿培养管纵向方向偶联到培养管，其中该培养管具有包括笔直部分和弯曲部分的平行多折叠形式且在弯曲部分装配有氧气排放器，和

泵部分，该泵部分与第一培养部分和第二培养部分两者连接，以使培养溶液在第一培养部分和第二培养部分之间循环；

其中第一培养基出口与第二培养基进口连接，第一培养基进口与第二培养基出口连接，使得培养基可在第一培养部分和第二培养部分之间循环，以及

其中所述泵部分包括能够将流速控制在 10-40cm/s 之间的流速控制器。

12. 权利要求 11 的光生物反应器，其中所述泵部分包括：

位于第一培养溶液出口和第二培养溶液进口之间的第三培养溶液进口；和

位于第一培养溶液进口和第二培养溶液出口之间的第三培养溶液出口。

13. 权利要求 11 的光生物反应器，其中所述培养管的内径为 3-30cm。

循环式光生物反应器

[0001] 发明背景

1. 发明领域

[0002] 以下说明书涉及培养装置，特别涉及循环式光生物反应器。

[0003] 2. 相关领域的描述

[0004] 目前，世界范围内种植的作物被用作人类的主要食物来源。但是，每英亩土地的产量不太高，太阳能的能量效率极低。相反，在水中能够利用太阳能、二氧化碳和少量无机盐生长的光合作用微藻是有利的，因为它们能在作物不能生长的地方进行培养，每英亩的蛋白质出产量比常规作物高至少 20 倍，且能提供在微生物、动物和植物中不能产生的各种有用物质和稀有天然物质。具体地讲，由于藻类细胞尺寸较大，能很好地沉淀，因此分离它们并从中提取一些物质是容易的。另外，它们用太阳能作为主要能源，因此可能有效率地利用太阳能。此外，由于它们用二氧化碳作为碳源，具有产生氧气作为副产物的光合作用系统，因此它们能减轻空气污染。

[0005] 因此，包括小球藻属 (Chlorella)、杜氏藻属 (Dunaliella) 和螺旋藻属 (Spirulina) 在内的光合作用微藻特别是螺旋藻属的微藻（下文称为“螺旋藻”）已成为研究热门，因为它们比其他的光合作用微藻个头大，容易在碱性污染环境中生长，可应用于食品、药品和其他行业。同时，具有诸如四季分明、季节间气温和日照变化大的气候特征的温带地区（如韩国），正在发展室内培养技术而不是室外培养技术。

[0006] 例如，韩国专利第 235182 号公开了连续培养装置，该装置包括自动控制加热器、具有通气装置的培养容器、具有用于支撑培养容器的设备的架子、偶联到架子的侧面的培养基供应管、用于循环培养溶液的橡胶管和用于循环培养溶液的水泵。韩国专利公报第 2004-0019298 号公开了用于培养微藻的装置，该装置包括被制成双圆柱型的培养容器，其由内圆柱（水平放置）和外圆柱组成，其中至少外圆柱包括能透射光线的透明材料，气体进口开口于培养容器的底部。韩国专利第 679989 号公开了用于微藻的水道型室外培养容器，其中一体化安装有用于培养接种物的接种培养容器。但是，如果用这些装置培养螺旋藻的话，生长的螺旋藻会过度贴附于培养容器的表面。因此，培养效率变低，且由于各种微生物的污染，不能获得有利的培养产物。

[0007] 为了解决上述问题，开发了这样的方法，其包括将培养容器密封，和通过用过滤器过滤供应的空气来防止各种微生物的污染。例如，韩国专利公报第 2002-0057882 号公开了室外大规模培养装置，该装置包括用于过滤和紫外灭菌的设备、空气泵、过滤设备、导管、过滤器、针阀和培养容器；韩国专利公报第 2002-0083558 号公开了高密度培养装置，该装置包括在其顶部上具有盖子的培养容器、在该培养容器中的 pH 传感器和分配器、该培养容器的带荧光灯的架子、pH 控制器、空气泵及 CO2 培养罐。

[0008] 发明概述

[0009] 尽管，应用现有技术下的各种装置可能防止各种微生物的污染，不过光合作用微藻过度贴附于培养容器内表面造成培养效率下降的问题至今尚未得到解决。如果问题得到

解决，可能明显提高光合作用微藻的培养效率。但是，没有教导这种解决方案的报道。因此，本发明的目的是提供能够防止光合作用微藻贴附于培养容器内表面从而提高培养效率的微藻培养用新型培养装置。

[0010] 本发明试图解决上述问题并完成本发明，并通过确认当光合作用微藻以循环方式培养时，培养溶液暴露于光线的面积得到最大化和生长的光合作用微藻不会贴附于培养容器内表面而确认完成本发明。

[0011] 在一个方面，本发明提供循环式光合作用生物反应器，该生物反应器包括：

[0012] 第一培养部分，该第一培养部分包括其中培养基被供应的培养罐，和偶联到培养罐以照射培养罐内部的第一光源；

[0013] 第二培养部分，该第二培养部分包括设置在培养罐外部且被从培养罐供应培养溶液的培养管，和偶联到培养管以照射培养管内部的第二光源；和

[0014] 泵部分，该泵部分与第一培养部分和第二培养部分连接，以使培养溶液在第一培养部分和第二培养部分之间循环。

[0015] 在一个实施方案中，第一光源设置在培养罐内部，但不限于这样设置。在一个实施方案中，第二光源偶联到培养管的内表面或者沿培养管纵向方向设置在培养管外部，但不限于这样设置。在另一个实施方案中，培养管优选具有平行多次折叠形式，包括多个沿培养管纵向方向偶联到培养管外部的第二光源，但不限于这样设置。在一个优选的实施方案中，培养管的内径为 3-30cm。在一个更优选的实施方案中，内径为 5-20cm。在最优选的实施方案中，内径为 10-15cm。在一个优选的实施方案中，第一培养部分还包括与培养罐和泵部分两者连接的至少一个第一培养溶液进口和至少一个第一培养溶液出口，第二培养部分还包括分别通过泵部分与第一培养溶液出口和与第二培养溶液进口连接的至少一个第二培养溶液进口和至少一个第二培养溶液出口，但不限于这样设置。在另一个优选的实施方案中，第一培养部分还包括用于将新鲜培养基供应到培养罐中的新鲜培养基进口和用于将培养溶液从培养罐中排放的最终出口，但不限于这样设置，且新鲜培养基进口优选具有喷雾球的形状，该喷雾球包括球形末端和在该球形末端上的许多微小喷嘴，但不限于这样设置。

[0016] 在一个实施方案中，第一培养部分还包括连接到培养罐内部的用于混合培养溶液的搅拌器，但不限于这样设置。在另一个实施方案中，第一培养部分还包括用于控制培养罐中的压力的压力控制阀，该压力控制阀优选为单向阀，通过光合作用微藻培养过程中产生的氧气压力开启。

[0017] 在一个实施方案中，第一培养部分还包括用于控制培养罐中的温度的温度控制器，该温度控制器优选为偶联到培养罐外部的水夹套，但不限于这样设置。

[0018] 在一个实施方案中，第一培养部分还包括一个或多个供传感器偶联到培养罐的端口，但不限于这样设置。在另一个实施方案中，第一培养部分还包括偶联到培养罐以将气体注入培养罐中的气体进口，但不限于这样设置。

[0019] 在一个实施方案中，第二培养部分还包括氧气排放器，该氧气排放器包括接地传感器 (earth sensor)、与接地传感器电连接的质量流量控制器和与质量流量控制器连接的阀门，但不限于这样设置。

[0020] 在一个优选的实施方案中，流速控制器偶联到泵部分，以控制循环到第二培养部分的培养溶液的流速。在一个更优选的实施方案中，流速控制器内置于泵部分。

[0021] 在另一个方面，本发明提供循环式光合作用生物反应器，该生物反应器包括：

[0022] 第一培养部分，该第一培养部分包括其中培养基被供应的培养罐、第一培养基进口、第一培养基出口和第一光源，所述进口、出口和光源各自偶联到培养罐；

[0023] 第二培养部分，该第二培养部分包括以管状形状布置在培养罐外部并被从培养罐供应培养基的培养管、第二培养基进口、第二培养基出口和第二光源，所述进口、出口和光源各自偶联到培养管，其中第一培养基出口与第二培养基进口连接，第一培养基进口与第二培养基出口连接，使得培养基可在第一培养部分和第二培养部分之间循环。

[0024] 光合作用生物反应器还可包括连接第一培养部分和第二培养部分以使培养溶液在第一培养部分和第二培养部分之间循环的泵部分。

[0025] 在一个优选的实施方案中，泵部分还包括电偶联到泵部分的泵的流速控制器。在一个更优选的实施方案中，流速控制器内置于泵部分。在一个优选的实施方案中，培养管的内径为 3-30cm。在一个更优选的实施方案中，内径为 5-20cm。在最优选的实施方案中，内径为 10-15cm。

[0026] 本发明的循环式光生物反应器能防止光合作用微藻贴附于培养容器的内表面，从而可提高光合作用微藻的培养效率。因此，可以经济地培养光合作用微藻。

[0027] 在本说明书中，“培养基”意指不含任何活的生物（如微藻）的用于进行培养的培养基，而“培养溶液”意指培养基和待培养的微藻的混合物。

[0028] 附图简述

[0029] 附图与本说明书相结合说明本发明的示例性实施方案，并与“发明详述”相结合用以阐述本发明的原理。

[0030] 图 1 是显示根据本发明一个实施方案的光生物反应器的示意图。

[0031] 图 2 是本发明光生物反应器中包括的第一培养部分的截面图。

[0032] 图 3 是说明管式光生物反应器中包括的第二培养部分的一个实施方案的平面图。

[0033] 图 4 是说明偶联到培养管的氧气排放器的一个实施方案的示意图。

[0034] 图 5 是说明具有两个第一培养溶液出口的培养部分的一个实施方案的平面图。

[0035] 发明详述

[0036] 在以下发明详述中，只以举例说明的方式显示和描述本发明的某些示例性的实施方案。本领域技术人员会认识到，本发明可以以许多不同的形式体现，而不应被解释为局限于本文给出的实施方案。还有，在本申请书当中，当某部件被称为在另一部件“上”时，它可直接在另一部件上，或者可间接在另一部件上，有一个或多个居间部件介于它们之间。在本说明书当中，同样的参考数字表示同样的部件。

[0037] 本发明人进行了各种实验，以研究培养的光合作用微藻贴附于培养容器内表面上的原因。结果确认了两个原因。第一个原因认为是依照施加周期性光条件和暗条件的微藻增殖及其生长。另一个原因认为是光合作用微藻会偶联到流动速度慢的部位，因为培养溶液的流动局部受限，于是贴附部位扩大

[0038] 本发明人试图设计通过只施加光条件而能够降低光合作用微藻的增殖速度和保证培养溶液的适当流动的培养容器。但是，本发明人证实，对于具有搅拌器的培养罐类型的光生物反应器，即使提高搅拌速度也不可能获得培养溶液的适当流动。

[0039] 因此，本发明人试图用其他方法而不是仅用搅拌器来使含有光合作用微藻的培养

溶液流动，证实将培养溶液从培养罐循环到两端都偶联到培养罐的管子，与仅使用搅拌器的方法相比能使培养溶液流动良好。因此，本发明人发明出具有带光源的培养管和泵的光生物反应器，以解决上述问题。本发明人可用所述光生物反应器的培养管和泵使培养溶液以恒定的速度流动，并通过偶联到培养管的光源容易地对培养溶液施加光条件，提供充足的光线以培养光合作用微藻。

[0040] 以下参照附图详细描述根据本发明的实施方案的光生物反应器。

[0041] 图 1 是显示根据本发明一个实施方案的光生物反应器的示意图。如图 1 所示，光生物反应器可包括第一培养部分 100、泵部分 200 和第二培养部分 300。光合作用微藻通过从第一培养部分 100 循环到泵部分 200，从泵部分 200 循环到第二培养部分，然后从第二培养部分循环到第一培养部分 100 来进行培养，因为第一培养部分 100、泵部分 200 和第二培养部分 300 是互相连接的。

[0042] 第二培养部分 300 可与第一培养部分 100 隔开设置。第一培养部分 100 可如图 1 所示以圆柱型提供，但不限于这样设置。例如，第一培养部分 100 的形状可变形为各种形式，如多边形柱。第二培养部分 300 可以以管状形状提供，可包括以各种形状制成的管子，等等。泵部分 200 被设置成使得培养溶液可在第一培养部分 100 和第二培养部分 300 之间循环。例如，泵部分 200 可设置在第一培养部分 100 和第二培养部分 300 之间，可装配有与第一培养部分 100 的第一培养溶液出口 132 连接的第三培养基进口 210，且可装配有与泵 220 和第二培养部分 300 的第二培养溶液进口 310 连接的第三培养溶液出口 230。因此，从第一培养部分 100 流出的培养溶液被转移到第二培养部分 300，且培养溶液如下循环 ：第一培养部分 100 →泵部分 200 →第二培养部分 300 →第一培养部分 100。泵部分 200 可通过与其电偶联的流速控制器控制循环于第二培养部分 300 的培养溶液的流速。在一个优选的实施方案中，流速控制器内置于泵部分 200。控制培养溶液的流速对于成功培养螺旋藻是重要的，因为螺旋藻是多细胞的螺旋状藻类。如果流速低，由于流体动力学状况不适当，螺旋藻会发生贴壁，气体交换和照射情况变差。相反，高流速会导致螺旋藻中有用物质的损失。因此，流速应当加以适当控制。优选将流速控制在 1-50cm/s 之间。更优选地，流速为 10-40cm/s。在最优选的实施方案中，流速为 20-30cm/s。

[0043] 在一个优选的实施方案中，培养管 330 的内径为 3-30cm。在一个更优选的实施方案中，内径为 5-20cm。在最优选的实施方案中，内径为 10-15cm。培养管的内径对于培养螺旋藻是重要的。如果内径超过 30cm，由于照射状况不适当，生产率变差。相反，如果内径小于 5cm，则难以放大培养体积。

[0044] 图 2 是本发明光生物反应器中包括的第一培养部分 100 的剖视图。如图 2 所示，第一培养部分 100 可装配有圆柱形培养罐 101、接种物进口 110、气体进口 111、传感器端口 120、第一培养溶液进口 131、第一培养溶液出口 132、最终出口 133、压力控制阀 112、新鲜培养基进口 134、第一光源 140、搅拌器 150 和温度控制器 160。

[0045] 例如，接种物进口 110 可偶联到培养罐 101 的顶部、气体进口 111 和传感器端口 120 可偶联到培养罐 101 的下部。但是，该布置是作为一个实施方案提供的，可根据培养罐 101 的形状的改变而加以变化。

[0046] 可提供接种物进口 110，以将各种气体如氮气和二氧化碳混合气体注入培养罐 101 的内部。因此，通过在培养罐 101 中保持内部正压，可能在光合作用微藻的培养过程中

防止来源于外部环境的各种微生物的污染。正压可为用于微藻的常规培养的约0.1-1.0kg/cm2f，但不限于这个范围。

[0047] 传感器端口120可装配有各种传感器，如pH传感器、CO_2传感器、溶氧传感器和温度传感器。

[0048] 同时，培养溶液通过第一培养溶液进口131从第二培养部分流入第一培养部分100，并通过第一培养溶液出口132流出第一培养部分100到泵部分200。当培养结束时，最终培养溶液通过最终出口133排放到第一培养部分100的外部。

[0049] 另外，压力控制阀112为由培养光合作用微藻所产生的氧气压力进行门控(gating)的单向阀，其可被构造成当内部压力保持为正压时被门控向外排放气体，但当内部压力下降时被关闭以停止排放气体。

[0050] 新鲜培养基进口134是棒型管子，其末端为球形，可以喷雾球的形状提供，在球形末端的表面上具有许多微小喷嘴。新鲜培养基可通过喷雾球以微喷雾的形式分配到第一培养部分100中，因此新鲜培养基进口134起到消除第一培养部分100中产生的泡沫的作用。此外，新鲜培养基进口134可用于供应洗涤剂，以洗涤第一培养部分100、泵部分200和第二培养部分300的内部。

[0051] 第一光源140为用于发出能够在培养光合作用微藻的过程中进行光合作用的光线的装置，其能发出三种波长的光线或者五种波长的光线。为此，优选的是照射强度和光-暗周期根据培养条件自动进行控制。例如，第一光源140可设置在培养罐101的内部。在另一个实施方案中，如果培养罐100包括透明材料或者培养罐100的某些部分装配有能通过光线的透明窗口，则第一光源140可设置在培养罐101的外部。

[0052] 搅拌器150可偶联到罐内下部，作用是混合初次培养中的培养溶液和将第一培养部分100中剩余的培养物混合物与从第一培养溶液进口131流入的培养溶液混合。温度控制器160可偶联到第一培养部分100的外部，起到控制温度的作用。温度控制器可以是水夹套，其能够通过使适当温度的水循环通过夹套而控制培养温度，但不限于水夹套。此外，还可另外装配观察窗口，以便通过观察窗口检查第一培养部分100的内部。

[0053] 图3是说明管式光生物反应器中包括的第二培养部分300的一个实施方案的平面图。如图3所示，第二培养部分300装配有与泵部分200的第三培养溶液出口230连接的第二培养溶液进口310、培养管330和与第一培养部分100的第一培养溶液进口131连接的第二培养溶液出口340。

[0054] 第二光源320可偶联到第二培养部分300的局部或全部。例如，第二光源320可偶联到培养管330的外部，沿所述外部纵向延伸。第二培养部分300的培养管330的作用是使包含光合作用微藻的培养溶液循环，并提供循环中的光合作用微藻接收来自第二光源320的光线进行光合作用的环境。因此，培养管330可由透明材料构成，以传输从第二光源330发出的光线。培养管330可整体仅由透明材料构成，或者仅仅是光线通过的部分由透明材料构成。或者，第二光源320可放在培养管330的内部。在这个情况中，第二光源310优选偶联到内表面且优选是LED(发光二极管)，培养管330可由不透明材料构成。另外，诸如pH传感器、CO_2传感器、溶氧传感器、温度传感器的传感器可偶联到培养管330的一个或多个侧面。此外，培养管330优选变形为窄长的管状形状，以使暴露于光线的面积最大化。在这个情况中，培养管330优选变形为折叠结构，第二光源320可在培养管330的折叠结构

之间多次提供。

[0055] 在本发明的一个实施方案中，第二培养部分 300 的培养管 330 可构成为平行多次折叠形式，包括在一个支架上的笔直部分和弯曲部分，或者这种折叠形式可堆积成多层结构。还有，作为用于固定第二光源 320 的架子的该支架可另外包括第二光源 320 的电源。另外，第二光源 320 的作用是发出光线供光合作用微藻在培养过程中进行光合作用。从第二光源 320 发出的波长优选是类似于日光的三波长或五波长，但不限于这些波长，且优选的是照射强度和光 - 暗周期根据培养条件自动进行控制。

[0056] 同时，由于培养管 330 被变形为包括笔直部分和弯曲部分的多次折叠结构，在培养光合作用微藻过程中产生的氧气可积累在弯曲部分而不被放出。为了强迫放出积累的氧气，优选的是培养管在弯曲部分另外装配有氧气排放器。当氧气积累超过一定水平时，积累的氧气通过氧气排放器的自动操作被排放（参见图 4）。

[0057] 图 4 是说明偶联到培养管 330 的氧气排放器的一个实施方案的示意图。如图 4 所示，氧气排放器包括接地传感器 351、与接地传感器成电连接的质量流量控制器 352、与质量流量控制器 352 连接的阀门 353，接地传感器 351 的一端浸在培养溶液中以施加电流。

[0058] 如果由于氧气在弯曲部分中的积累形成了气体层，则接地传感器 351 脱离培养溶液暴露出来，于是电流中断。在中断过程中，与质量流量控制器 352 连接的阀门 353 被开动，于是排出一定量的氧气。当随着氧气的排放接地传感器再次浸在培养溶液中时，电流被施加，阀门 353 停止。

[0059] 在另一个方面，本发明的管式光生物反应器可包括一个培养部分和两个或更多个泵部分和培养管部分。

[0060] 图 5 是说明培养部分的一个实施方案的平面图，该培养部分具有两个用两个泵部分提供培养溶液的第一培养溶液出口 132、两个从两个培养管 330 流入培养溶液的第一培养溶液进口 131 以及培养部分 100。如图 5 所示，使用包括一个培养部分、两个或更多个泵部分和培养管部分的管式光生物反应器，培养部分可给两个培养管部分提供培养溶液，因而培养会更有效率。

[0061] 下文参考附图详细描述管式光生物反应器的运行和效果。

[0062] 首先，将第一培养部分 100 的第一培养溶液进口 131、第一培养溶液出口 132 和最终出口 133 关闭，将微藻藻种接种物通过接种物进口 110 或新鲜培养基进口 134 注入培养罐 101。然后从第一光源 140 施加光线进行初次培养，使用温度控制器 160 并开动搅拌器 150 维持适当的温度。用各种偶联到第一培养部分 100 的传感器端口 120 的传感器检查培养条件后，在适当的时间终止初次培养。

[0063] 然后，将新鲜培养基通过新鲜培养基进口 134 注入培养罐 101，并连续开动搅拌器 150 以将初次培养后的培养溶液与注入的新鲜培养基混合。当将与初次培养溶液等体积的新鲜培养基注入培养罐 101 后，打开第一培养溶液进口 131 和第一培养溶液出口 132，使混合的培养溶液转移到泵部分 200 的第三培养溶液进口 210。如果混合的培养溶液被转移到泵部分 200 的第三培养溶液进口 210，则泵部分 200 的泵 220 开动，混合的培养溶液通过第三培养溶液出口 230 被转移到第二培养部分 300 的第二培养溶液进口 310。被转移到第二培养部分 300 的第二培养溶液进口 310 的混合培养溶液通过泵 220 依次转移到培养管 330、第二培养溶液出口 340 和第一培养部分 100 的第一培养溶液进口 131，且循环（第一培养

部分→泵部分→第二培养部分→第一培养部分）启动。如果循环启动，第二光源 320 发出光线以照射培养管 330，培养溶液中所含的光合作用微藻进行光合作用。循环的培养溶液的流速可用电偶联到泵的流速控制器进行控制，以防止光合作用微藻特别是螺旋藻发生贴附和使循环中的微藻的光合作用最大化。流速可控制在 1-50cm/s 之间。更优选地，流速为 10-40cm/s。在最优选的实施方案中，流速为 20-30cm/s，但不限于这个范围。

[0064] 在光合作用微藻的循环培养过程中，通过经由气体进口 111 向第一培养部分 100 的培养罐 101 注入二氧化碳和氮气混合气体，从而向培养罐 101 施加约 0.1-1.0kg/cm^{2}f 的正压，可防止来源于环境的各种微生物的污染，而培养溶液的 pH 通过调整混合气体中包含的二氧化碳的分压来控制。

[0065] 另外，由光合作用微藻培养过程中的光合作用产生的氧气在第一培养部分 100 的培养罐 101 处从培养溶液中分离出来后，被转移到培养罐 101 的顶部，然后氧气通过压力控制阀 112 向外排放。在这个情况中，如果第二培养部分 200 的培养管 330 被设置成包括在一个支架上的笔直部分和弯曲部分的平行多次折叠形式，则氧气可积累在培养管 330 的弯曲部分。因此，优选通过在弯曲部分接上一个或多个氧气排放器来除去培养管 330 中积累的氧气。

[0066] 当光合作用微藻的循环培养终止时，通过打开第一培养部分 100 的最终出口 133 收获包含光合作用微藻的最终培养溶液。在培养终止后，本发明人证实了显著的结果，即培养管 330 的内表面至多有 5％被光合作用微藻所覆盖。因此，本发明人通过用随培养管装配的光源只施加光条件来降低光合作用微藻的增殖速度，并通过使培养溶液从第一培养部分循环到泵、从泵循环到第二培养部分和从第二培养部分循环到第一培养部分来使培养溶液的流动性最大化，解决了由于光合作用微藻贴附于培养容器的内表面所造成的培养效率下降的问题。

[0067] 光合作用微藻可以是小球藻属 (Chlorella)、杜氏藻属 (Gunaliella)、螺旋藻属 (Spirulina)，但不限于它们。更优选地，光合作用微藻是螺旋藻属。

[0068] 以上已结合某些示例性实施方案描述了本发明，但应理解，本发明并不局限于所公开的实施方案，相反认为本发明覆盖被包括在所附权利要求书及其等同物的精神和范围内的各种修改方案和等同安排。

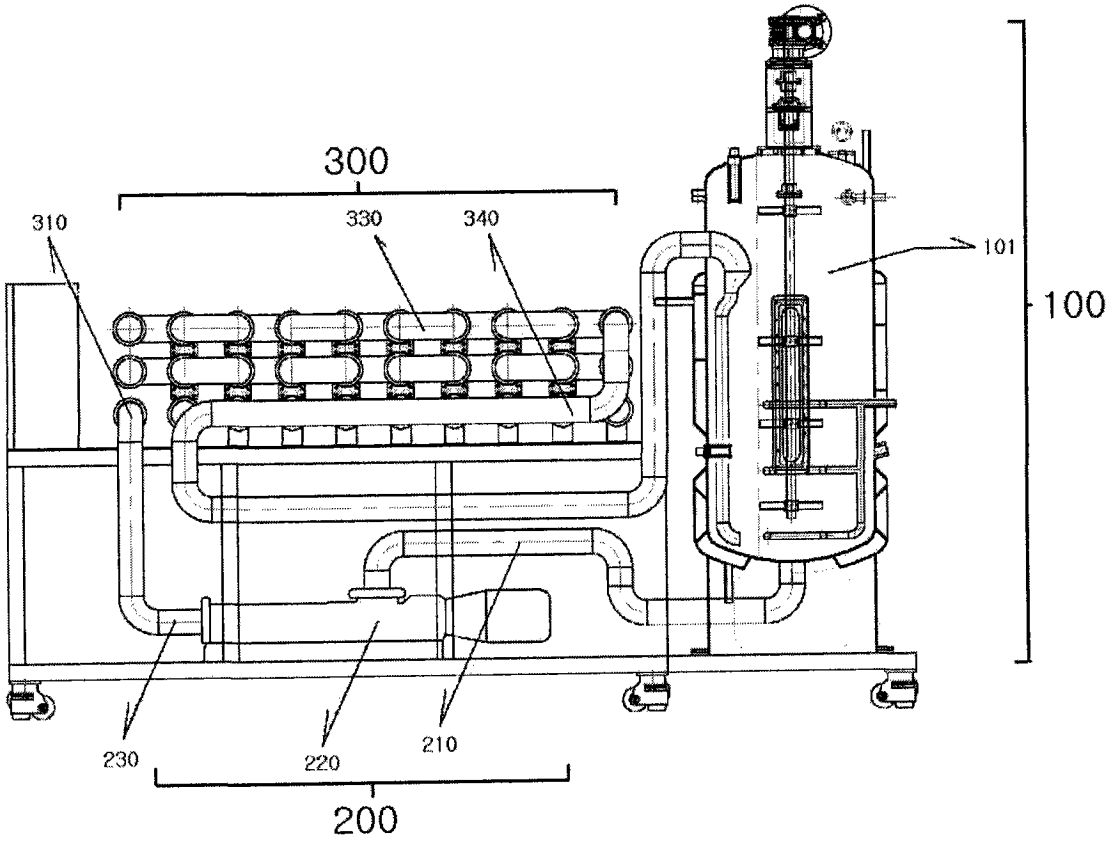


图 1

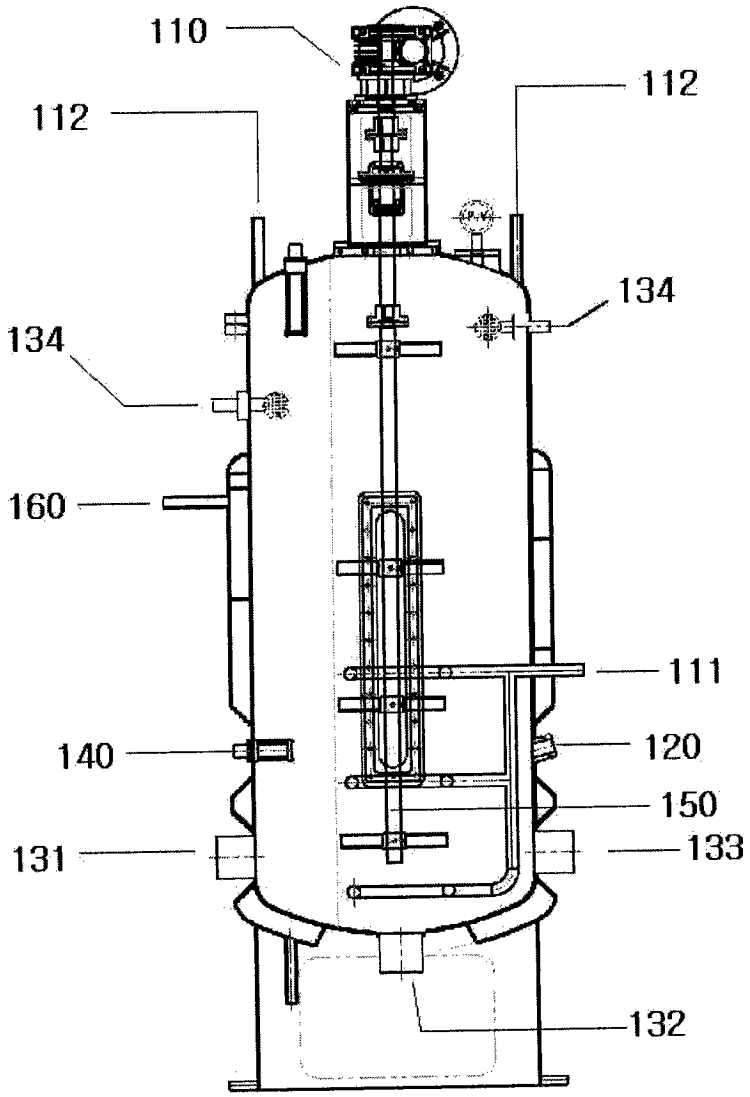


图 2

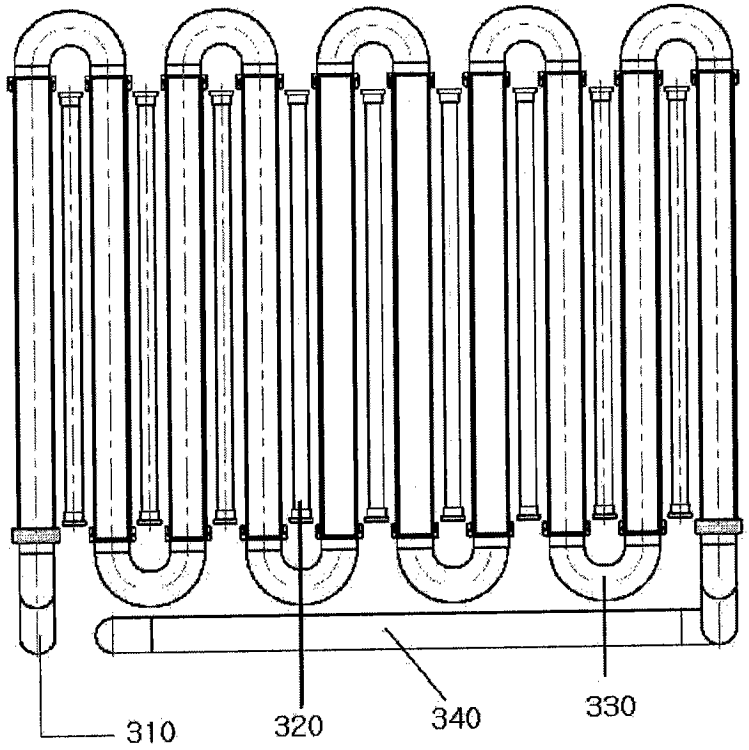


图 3

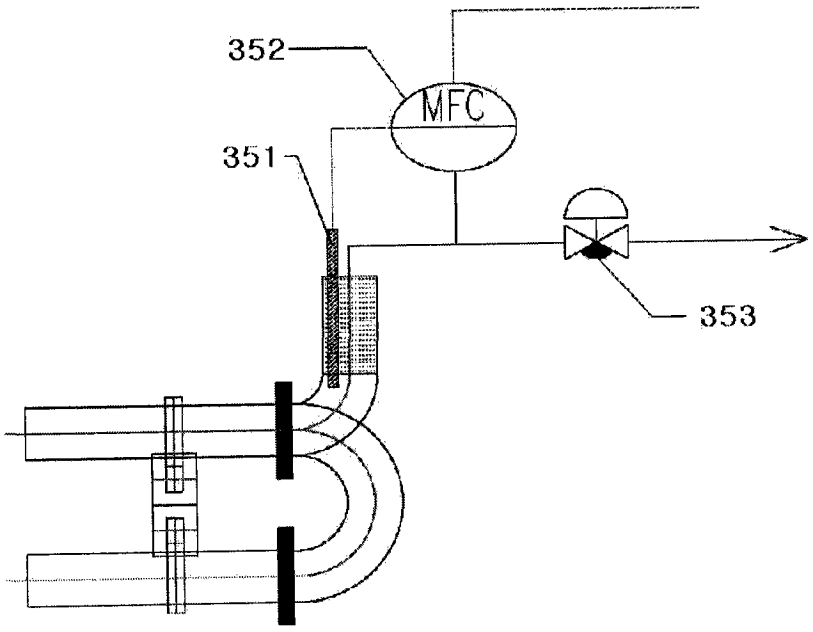


图 4

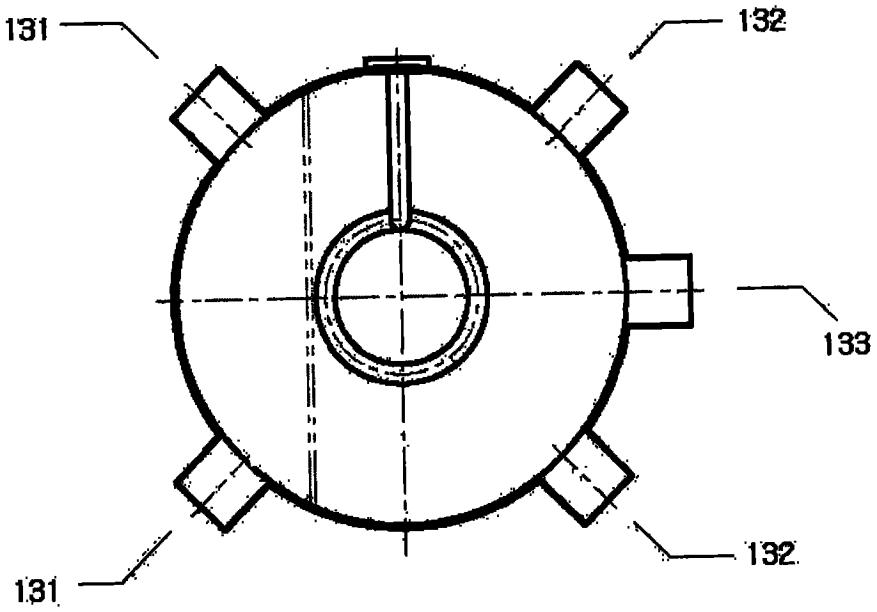


图 5