



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0103772  
(43) 공개일자 2017년09월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
F21V 8/00 (2016.01) C12M 1/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G02B 6/0008 (2013.01)  
C12M 21/02 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-7016759  
(22) 출원일자(국제) 2015년11월26일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2017년06월19일  
(86) 국제출원번호 PCT/EP2015/077852  
(87) 국제공개번호 WO 2016/083548  
국제공개일자 2016년06월02일  
(30) 우선권주장  
1461523 2014년11월26일 프랑스(FR)

(71) 출원인  
프리드쉬 알렉 루이 앙드레  
프랑스, 75007 파리, 뽀르발 쟁-귀르메, 211  
위에 홀딩스  
프랑스, 75017 파리, 뽀르발 드 꾸르셀레, 70  
(72) 발명자  
프리드쉬 알렉 루이 앙드레  
프랑스, 75007 파리, 뽀르발 쟁 귀르메, 211  
뤼이 가엘  
프랑스, 에프-19310 아이앙, 뤼 드 랑씨엔 갈 24  
아피 마무  
프랑스, 에프-44300 낭떼, 뤼 떼오도르 드리오르  
레 4  
(74) 대리인  
한인열

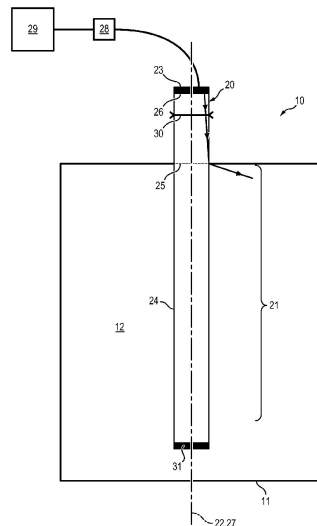
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 광 주입기 요소

(57) 요약

본 발명은 광 주입기 요소 (20)에 관한 것으로, 길이방향 축 (22)을 따라 연장되는 몸체 (21), 및 몸체 (21)의 단부 (25)를 마주보도록 배치되는 광원 (23)을 포함하고, 광원 (23)은 다수의 수직-공동 표면-방출 레이저 (VCSEL) 다이오드들을 포함하고, 다수의 다이오드들은 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)에 실질적으로 수직한 방출 표면 (26)을 형성하도록 구성된다. 본 발명은 또한 이러한 광 주입기 요소 (20)를 포함하는 광생물 반응기 (10)에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C12M 31/08* (2013.01)

*G02B 6/0006* (2013.01)

*G02B 6/001* (2013.01)

*G02B 6/0035* (2013.01)

*G02B 6/0068* (2013.01)

*G02B 6/0096* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

광 주입기 요소 (light injector element) (20)로서, 길이방향 축 (22)을 따라 연장되는 몸체 (21), 및 몸체 (21)의 단부 (25)를 마주보도록 배치되는 광원 (23)을 포함하고, 광원 (23)은 다수의 수직-공동 표면-방출 레이저 (VCSEL) 다이오드들을 포함하고, 상기 다수의 다이오드들은 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)에 실질적으로 수직한 방출 표면 (26)을 형성하도록 구성되고, 광원 (23)은, 몸체 (21) 상류에서, VCSEL에 의해 몸체 (21)의 측면 (24)을 향하여 방출되도록 광선을 편향하는 발산 또는 수렴 입구 렌즈 (30)에 연결되는 것을 특징으로 하는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 몸체 (21)는 통 형태, 특히 수직 원통 또는 평행육면체인, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 각각의 다이오드 (VCSEL)는 기본 방출 표면 (110)을 가지고, 방출 표면 (26)은 적어도 모든 기본 방출 표면들 (110)을 포함하는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 하나에 있어서, 상기 (VCSEL)다이오드들은 연결되어 집적회로 (C-VCSEL)를 형성하는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 하나에 있어서, 광원 (23)은 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34)보다 주변 구역 (33)에서 광을 더욱 방출하도록 구성되는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 6

제5항에 있어서, 광원 (23)은 주변 구역 (33)에서만 광을 방출하도록 구성되는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 7

제5항 내지 제6항 중 어느 하나에 있어서, 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34)에서는 (VCSEL) 다이오드가 없는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 8

제5항 내지 제6항 중 어느 하나에 있어서, 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)이 중앙 구역 (34)보다 광을 더욱 방출하기 위하여 광원 (23)을 조절하도록 구성되는 제어 단위 (29)를 더욱 포함하는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 9

제5항 내지 제8항 중 어느 하나에 있어서, 광원 (23)에 대향하는 몸체 (21)의 일 단부에 배열되는 단부 거울 (31)을 더욱 포함하여, 상기 단부 거울 (31)에 대하여 반사되는 일부 광선을 몸체 (21) 내에서 반향시키는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 10

제5항 내지 제9항 중 어느 하나에 있어서, 광원 (23)은 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에서 불-균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 구성되는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 11

제10항과 조합되는 제3항에 있어서, 광원 (23)이 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에서 불-균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 주변 구역 (33)의 (VCSEL) 다이오드의 기본 방출 표면은 상이한 치수를 가지는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 12

제10항 내지 제11항 중 어느 하나에 있어서, 광원 (23)이 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에서 불-균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 불-균일한 밀도의 전류를 (VCSEL) 다이오드에 전송하도록 구성되는 전원 공급기 (28)를 더욱 포함하는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 하나에 있어서, 광원 (23)에 의해 방출되는 에너지를 국소적으로 분배하기 위하여 몸체 (21) 내부에 배열되고, 몸체 (21) 중앙부 (36i)에서 전파되는 광선 일부를 통과시키며 몸체 주변부 (37i)에 전파되는 광선 일부를 상기 몸체 (21) 외부로 편향시키도록 구성되는 적어도 하나의 광학 요소 (35i)를 포함하는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 14

제13항에 있어서, 광학 요소 (35i)는 몸체 (21) 중앙부 (36i)에서 전파되는 광선 일부를 통과시키도록 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)과 실질적으로 동축인 개구 (38i)를 가지는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 15

제14항에 있어서, 몸체 (21) 내부에 배열되고, 상기 몸체 (21)를 따라 서로 거리를 두고 연장되는 다수의 광학 요소 (35i)를 포함하고, 상기 광학 요소 (35i)는 몸체 (21) 중앙부 (36i)에 전파되는 광선 일부를 통과하도록 구성되며 광학 요소 (35i)가 광원 (23)으로부터 멀어질수록 더욱 감소되어 광원 (23)에서 방출되는 에너지가 몸체 (21)를 따라 분배되는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 16

제15항에 있어서, 광학 요소 (35i) 각각은 몸체 (21) 중앙부 (36i)에서 전파되는 광선 일부가 통과하도록 몸체 (21) 길이방향 축 (22)과 실질적으로 동축인 개구 (38i)를 가지고, 상기 개구 (38i)의 크기는 광원 (23)에서 멀어질수록 감소되는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 17

제13항 내지 제16항 중 어느 하나에 있어서, 광학 요소(들) (35i)은 발산 렌즈 또는 프리즘인, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 18

제13항 내지 제17항 중 어느 하나에 있어서, 광학 요소 (35i)는 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에 의해 방출되는 모든 광을 몸체 (21) 외부로 향하여 편향시키도록 구성되는, 광 주입기 요소 (20).

#### 청구항 19

광합성 미생물, 바람직하게는 미세조류의 배양 특히 연속 배양용 광생물 반응기 (10)로서, 상기 광생물 반응기 (10)는 미생물의 배양 배지 (12)가 담기는 적어도 하나의 배양 용기 (11)를 포함하고, 상기 광생물 반응기 (10)는 제1항 내지 제18항 중 어느 하나에 의한 광 주입기 요소 (20)를 포함하고, 상기 주입기 요소 (20)의 몸체 (21)는 배양 용기 (11)에 배치되는, 광생물 반응기 (10).

### 발명의 설명

### 기술 분야

본 발명은 포괄적으로 조명 분야, 특히 광합성 미생물에 대한 속성 및 연속 배양을 위한 조명에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0001]

- [0002] 선행 기술에서 많은 조명용 요소들, 예컨대 냉광 또는 네온관, 형광관 또는 발광 다이오드 (또는 LED) 이 알려져 있다.
- [0003] 특히, LED는 램버시안 (Lambertian) 프로파일에 따르면, 즉 로브 (lobe) 형태의 에너지 방출 다이어그램을 가진다. LED는 방출 표면에 수직인 주요 방향에서 최대 에너지 흐름을 방출하고, 이러한 에너지 흐름은 이러한 주요 방향에서 멀어질수록 감소한다.
- [0004] 또한, LED는 입체각이, 전형적으로  $90^\circ$  로 제한되는 방출 원추를 가진다. 따라서 LED는 주요 방향에 대하여 높은 경사각 (inclination)을 가지는, 특히  $45^\circ$  이상의 방향으로 에너지 방출하지 않는다. 이와 같이, LED가 예를들면 실내 천장에 설치되면 주로 수직으로 방출하고, 수평으로는 비추질 않아, 실내 조명 품질이 떨어진다. 이러한 조명 품질은 사용자 편의성에 문제를 일으키고 이러한 결점을 보완하기 위하여 조명 시스템을 보강할 필요가 있다.
- [0005] 그러나 LED를 사용하는 것은, 특히 LED가 가열되지 않을 때 LED 사용 기간 동안 거의-일정한 실질적 광 출력이라는 상당한 이점들이 있다.
- [0006] LED와는 반대로, 형광 또는 네온관은 모든 방사 방향에서 심지어 천장 조명으로 설치할 때 수평 방향으로도 에너지 방출을 보인다.
- [0007] 그러나, 이러한 조명용 요소의 광 출력은 LED보다 훨씬 낮고 광 강도는 시간이 경과함에 따라 약해진다. 또한, 이러한 조명용 요소는 때로 깜박거리고, 특히 사용자에게 거주장스러울 수 있다.
- [0008] 광합성 미생물, 특히 미세조류의 속성 배양용 조명 분야에서, 상기 미세조류의 생산 결과를 개선하기 위하여 조명용 요소에 의해 방출되는 에너지 흐름이 상기 조명용 요소의 모든 방출 방향에서 최대로 균일한 것이 핵심이다.
- [0009] 사실 생산은 대체로 미세조류가 배양되는 광생물 반응기의 공간에서 조명 품질에 직접 의존한다고 이해된다. 모든 생물학적 액체는 미세조류 특성에 따라 달라지는 최적 평균 에너지로 정확히 조명될 필요가 있다. 따라서, 생물학적 액체 (조)의 유용한 공간을 가능한 극대화하기 위하여 광원 및 생물학적 액체 간의 계면은 가장 커져야 한다.
- [0010] 요약하면, 리터 당 1그램인 농도 d에서, 빛은 깊이  $\lambda = 0.5\text{cm}$ 이상에서 흡수된다는 명백하다. 조명 표면  $1\text{ m}^2$  (평균 광원  $1\text{ m}^2$ ) 을 가지는  $1\text{ m}^3$  반응기에 대하여, 유의미한 생물학적 액체 부피는 단지  $1/200\text{ m}^3$ 일 것이다. 조명 용적과 반응기 부피가 동일한 것이 이상적인 반응기일 것이다. 더욱 일반적으로 반응기의 품질 인자 (quality factor)는 관계식:  $Q = S\lambda/V_0$ 으로 정의되고, 식 중 S는 반응기 부피  $V_0$  에서 (완전한 전력 (the right power) 에서) 조명 표면이고,  $\lambda$ 는 광 투과 깊이이다.
- [0011] 반응기에서 분산된 조명 요소의 부피가  $V_e$  이면 대량 생산 M은 관계식:  $M = (V_0 - V_e)_d$  으로 표현된다 (식 중 d는 부피 단위 당 미세조류의 중량).
- [0012] 이들 두 관계식은 동시에 최대화 되어야 한다.
- [0013] 이를 위하여, 문서 W02011/080345는 예를들면 LED가 일단에 배치되는 관형 도광체를 포함하는 광 주입기 요소를 제안한다. LED는 포물선 또는 원추 형태 또는 임의의 기타 형상의 거울로 둘러싸여 LED에서 방출되는 고각의 광선들을 주입기 축방향에서 반향시킨다.
- [0014] 또한, LED 측의 일단에서 주입기 요소의 도광체는 불투명도가 광원에서 멀어질수록 감소하는 거울로 덮여있다. 즉, 이러한 금속 거울은 주입기 요소 상부에서 완전하고, 점차 반-투명이고, 마지막으로 사라진다. 사실, 이러한 거울이 없다면, LED의 램버시안 에너지 방출 프로파일에서, 측벽을 따라 관에 의해 방출되는 에너지는 LED로부터 멀어질수록 기하급수적으로 감소되어, 이 결과 광에너지는 실질적으로 주입기 요소의 상부에서 외부로 유출될 것이다. 따라서 이러한 거울을 이용하는 것은 주입기 요소가 관을 따라 에너지를 가능한 가장 균일하게 방출하는 핵심이라는 것을 이해하여야 한다.
- [0015] 이러한 문서는 또한 LED 반대측의 도광체 일단에 거울 배치를 제안하여 주입기 요소의 도광체를 따라 LED에서 직접 나오거나 또는 주요 방출 방향에 대하여 저각 방향에서 반사되는 광선을 반향하여, LED에서 멀어질수록 증가하는 에너지 손실을 보상한다. 이러한 거울은 예를들면 원추, 반구, 또는 포물선 형태, 또는 더욱 복잡한 형태를 가진다.

- [0016] 이러한 거울을 사용하면 거울에 의해 반사되는 에너지 흐름을 상당히 흡수하고, 이는 또한 유용한 에너지 손실을 초래하고, 주입기 요소의 국부적 가열 및 최종적으로 생물학적 액체 (조)의 가열을 유발시킨다.
- [0017] 사실, 양호한 거울 품질 및 파장  $0.8\mu\text{m}$  광 방출에서, 상기 거울 반사에서 5%의 광에너지가 흡수된다. 이러한 방식으로, 재-배향되는 광선의 단일 반사만이 존재하고 이러한 광선이 예를들면 50%의 광 흐름을 나타낸다면, 따라서 2.5%의 광에너지가 흡수된다.
- [0018] 특히 LED를 포위하는 거울의 경우, 주요 방출 방향에 대하여 큰 각도를 가지는 광선은 여러 번 반사된다. 이러한 효과는 주입기 요소의 영역에 비하여 (수십  $\text{mm}^2$  의 표면) 대형 방출 표면의 LED에 있어서 더욱 커진다. 따라서, 10% 이상의 에너지 흡수가 관찰되고, 양호한 품질의 거울인 경우에서도 그러하다.
- [0019] 원주 형태 또는 더욱 복잡한 형태의 거울을 이용하면 광선의 반사 회수를 제한하고 따라서 반사되는 광 흐름 흡수와 연관되는 손실을 줄일 수 있다.
- [0020] 그러나, 일부 이러한 거울은 산업적으로 제작이 어렵다는 것 외에도, 이로 인해 유발되는 광 흐름의 흡수는 상당하다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

- [0021] 따라서 이러한 거울을 이용하는 것은 특히 복잡하고 전력 관점에서 고가이다.
- [0022] 따라서 광에너지 손실을 줄일 수 있는 광생물 반응기를 위한 광 주입기 요소를 개발할 필요가 존재한다.

#### 과제의 해결 수단

- [0023] 따라서 본 발명의 목적은 광원에서 방출되는 에너지 및 주입기 요소에서 이탈되는 에너지 사이에서 광에너지 손실을 감소시키는 광 주입기 요소를 제안하는 것이다. 본 발명의 또 다른 목적은 상기 주입기 요소의 모든 방출 방향에서 균일한 전반적인 에너지 흐름을 제공하는 주입기 요소를 제안하는 것이다. 이러한 목적을 위하여, 제1 양태에 의하면, 본 발명은 길이방향 축을 따라 연장되는 몸체, 및 몸체 단부를 대향하여 배치되는 광원을 포함하는 광 주입기 요소를 제안하고, 광원은 다수의 수직-공동 표면-방출 레이저 다이오드들을 포함하고, 상기 다수의 다이오드들은 몸체 길이방향 축에 실질적으로 수직한 방출 표면을 형성하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 기타 유익하고 비-제한적 특징에 의하면:
- [0025] 몸체는 통 형태 (cylindrical form), 특히 수직 원통 또는 평행육면체이다;
- [0026] 각각의 다이오드는 기본 방출 표면을 가지고, 방출 표면은 적어도 모든 기본 방출 표면들을 포함한다;
- [0027] 상기 다이오드들은 연결되어 집적회로를 형성한다;
- [0028] 광원은 방출 표면의 중앙 구역보다 주변 구역에서 광을 더욱 방출하도록 구성된다;
- [0029] 광원은 주변 구역에서만 광을 방출하도록 구성된다;
- [0030] 방출 표면의 중앙 구역에서는 다이오드를 포함하지 않는다;
- [0031] 주입기 요소는 방출 표면의 주변 구역이 중앙 구역보다 광을 더욱 방출하기 위하여 광원을 조절하도록 구성되는 제어 단위를 더욱 포함한다.
- [0032] 주입기 요소는 광원에 대향하는 몸체의 일 단부에 배열되는 단부 거울을 더욱 포함하여, 상기 단부 거울에 대하여 반사되는 일부 광선을 몸체 내에서 반향시킨다;
- [0033] 광원은 방출 표면의 주변 구역에서 불-균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 구성된다;
- [0034] 광원이 방출 표면의 주변 구역에서 불-균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 주변 구역의 다이오드의 기본 방출 표면은 서로 상이한 치수를 가진다;
- [0035] 주입기 요소는 광원이 방출 표면의 주변 구역에서 불-균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 불-균일한 밀도의 전류를 다이오드에 공급하도록 구성되는 전원 공급기를 더욱 포함한다;

- [0036] 광원에서 방출되는 에너지를 국소적으로 분배하기 위하여 주입기 요소는 몸체 내부에 배열되고 몸체 중앙부에서 전파되는 광선 일부를 통과시키고, 몸체 주변부에서 전파되는 광선 일부를 상기 몸체 밖으로 편향시키도록 구성되는 적어도 하나의 광학 요소를 포함한다;
- [0037] 광학 요소는 몸체 중앙부에서 전파되는 광선 일부를 통과시키도록 몸체의 길이방향 축과 실질적으로 동축인 개구를 가진다;
- [0038] 주입기 요소는 몸체 내부에 배열되고, 상기 몸체를 따라 서로 거리를 두고 연장되는 다수의 광학 요소를 포함하고, 상기 광학 요소는 몸체 중앙부에 전파되는 광선 일부를 통과하도록 구성되며 광학 요소가 광원으로부터 멀어질수록 더욱 감소되어 광원에서 방출되는 에너지가 몸체를 따라 분배된다;
- [0039] 광학 요소 각각은 몸체 중앙부에서 전파되는 광선 일부가 통과하도록 몸체 길이방향 축과 실질적으로 동축인 개구를 가지고, 상기 개구의 크기는 광원에서 멀어질수록 감소된다;
- [0040] 광학 요소(들)은 발산 렌즈 또는 프리즘이다;
- [0041] 광학 요소는 방출 표면의 주변 구역에 의해 방출되는 모든 광을 몸체 외부로 향하여 편향시키도록 구성된다.
- [0042] 제2 양태에 의하면, 본 발명은 광합성 미생물, 바람직하게는 미세조류의 배양 특히 연속 배양용 광생물 반응기에 관한 것이고, 상기 광생물 반응기는 미생물의 배양 배지 (12)가 담기는 적어도 하나의 배양 용기를 포함하고, 상기 광생물 반응기는 본 발명의 제1 양태에 의한 광 주입기 요소를 포함하고, 상기 주입기 요소의 몸체는 배양 용기에 배치되는 것을 특징으로 한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0043] 본 발명의 기타 특징, 목적 및 이점들은 첨부 도면들을 고려하고 단지 예시적이고 비-제한적 설명에서 명백해질 것이다:
- 도 1은 본 발명의 실시태양에 따른 광 주입기 요소를 포함하는 광합성 미생물의 배양 특히 연속 배양용 광생물 반응기의 개략적인 수직 단면도다;
- 도 2는 수직-공동 표면-방출 레이저 (VCSEL) 다이오드 구조체의 개략 단면도이다;
- 도 3은 도 1에 도시된 실시태양의 변형에 의한 광 주입기 요소를 포함하는 광생물 반응기의 개략적인 수직 단면도다;
- 도 4는 다수의 VCSEL의 제1 예시적 방출 에너지 프로파일을 보이고 방출 에너지 밀도는 VCSEL에 의해 형성되는 전체 방출 표면에 걸쳐 균일하지 않다;
- 도 5는 다수의 VCSEL의 제2 예시적 방출 에너지 프로파일을 보이고 방출 에너지 밀도는 VCSEL에 의해 형성되는 전체 방출 표면에 걸쳐 균일하지 않다;
- 도 6은 도 1 및 3에 도시된 실시태양의 변형에 의한 광 주입기 요소를 포함하는 광생물 반응기의 개략적인 수직 단면도다;
- 도 7은 VCSEL이 도 4에 도시된 방출 프로파일을 가질 때 도 6에 도시된 광 주입기 요소에 의해 방출되는 전체 길이에 걸친 에너지 분포를 보인다;
- 도 8은 VCSEL이 도 5에 도시된 방출 프로파일을 가질 때 도 6에 도시된 광 주입기 요소에 의해 방출되는 전체 길이에 걸친 에너지 분포를 보인다;
- 도 9는 도 1, 3 및 6에 도시된 실시태양들의 변형에 의한 평판식 광 주입기 요소의 수직 단면 사시도이다;
- 도 10은 도 1, 3, 6 및 9에 도시된 실시태양들의 변형에 의한 평면 광 주입기 요소의 수직 단면 사시도이다;

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 도 1은 본 발명의 실시태양에 따른 광합성 미생물, 바람직하게는 미세조류의 배양 특히 연속 배양용 광생물 반응기 (10)를 도시한 것이다.
- [0045] 광생물 반응기 (10)는 미생물 배양 배지 (12)를 담는 적어도 하나의 배양 용기 (11), 및 적어도 하나의 광 주입기 요소 (20)를 포함한다.

- [0046] 광 주입기 요소 (20)는 길이방향 축 (22)을 따라 연장되는 통상 (cylindrical) 몸체 (21)를 포함한다. 광생물 반응기에서, 광 주입기 요소 (20)의 길이방향 축 (22)은 실질적으로 수직 방향과 일치한다.
- [0047] 통이란 (바닥 (base) 형성) 표면을 표면과 직교 방향으로 병진 이동하여 생기는 용적을 의미한다. 예를들면, 몸체 (21)는 원통 형태 (바닥이 원반인 통) 또는 각기둥 형태 (바닥이 다각형인 통)일 수 있다. 특히, 몸체 (21)는 장방형 평행육면체일 수 있다.
- [0048] 몸체 (21)는 배양 용기 (11) 내에 놓인다. 몸체 (21)는 흡수에 의한 손실을 방지하기 위하여 바람직하게는 중공일 수 있지만, 하기와 같이 선택적으로는 투명 재료로 제작될 수 있다는 것을 이해하여야 한다. 도 9 또는 10에 도시된 바와 같이 몸체 (21)의 형태가 장방형 평행육면체인 경우, 상기 몸체 (21)의 두 개의 대향 면들은 서로 가까이 놓이는 바람직하게는 판들 (21a, 21b)이다. 판들 (21a, 21b)은 몸체 (21)의 길이 (높이) 및 폭을 형성하고, 판들 (21a, 21b) 간의 거리는 몸체 (21)의 두께를 형성한다. 판들은 예를들면 폴리(메틸메타크릴레이트) (PMMA) 또는 유리로 제작된다.
- [0049] 광 주입기 요소 (20)의 몸체 (21)는 (광 주입기 요소 (20)가 수직 배향될 때 상단에 배열되는) 광원 (23)과 결합되어 광원 (23)에 의해 방출되는 광의 흐름을 안내하고 측벽(들) (24)을 통해 이를 배양 배지 (12)로 전달한다. 이러한 커플링은 예를들면 광선을 편향하는 발산 또는 수렴 입구 렌즈 (30)에 의하여, 이하 설명될 것이다.
- [0050] 중공 요소 (20)의 경우, 중앙 공동 및 측벽 (24)을 형성하는 몸체 (21)의 외장 (평행육면체 몸체에 대하여는 판들 (21a, 21b)) 간의 굴절률 단차 (index step)는 광의 측방 전달을 조절한다. 충전 요소의 경우, 선택적으로 거칠기를 가지는 이중 외장들의 (따라서 두 개의 상이한 굴절률을 가지는) 구조체가 존재할 필요가 있다
- [0051] 도 9 또는 10에 도시된 바와 같이 몸체 (21)가 장방형 평행육면체 형태인 경우, 빛은 판들 (21a, 21b)을 통해 측방으로 방출된다. 바람직하게는 및 광원 (23)의 열 손실 관리 목적으로, 후자는 상기 몸체 (21)의 근위단 (25)을 바라보고, 특히 냉각재에 의해 냉각되는 (바람직하게는 모든 주입기 요소에 공통되는) 방열기와 접촉하여 배양 용기 (11) 외측에 놓인다.
- [0052] 주입기 요소 광 확산기 (20)는 굴절 현상에 의해서만, 즉 선택적 렌즈 (30), 측벽 (24), 또는 임의의 기타 광학 요소 (35i) (아래 참고)의 높이와 무관하게 단지 두 매질들 사이 계면에 대한 광선의 편향 (즉 굴절률 단차)에 의해서만 광에너지를 광원 (23)으로부터 측벽으로 전달시킨다는 것을 이해하여야 한다.
- [0053] 이로써 소위 확산 현상 (불균일한 매질에서 입자들에 의한 광선의 편향)은 최대로 회피된다 (최대 투명 매질에서 선호). 이에 따라 매질 내에서 에너지 손실이 거의 없고 광원 (23)에 의해 공급되는 에너지 100%를 회복한다. 확산 매질은 사실 조사선 영향으로 가열의 경향이 있다.
- [0054] 광원 (23)은 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)에 실질적으로 수직한 방출 표면 (26)을 형성하고 광선을 몸체의 길이방향 축 (22)에 실질적으로 평행한 방출 방향 (27)으로 방출하도록 배열되는 하나 이상의 레이저원, VCSEL로 칭하는 다수의 수직-공동 표면-방출 레이저 다이오드를 포함한다. VCSEL은 적어도 하나의 전원 공급기 (28)에 의해 전류가 공급된다. 전원 공급기 또는 전원 공급기들 (28)은 예를들면 제어 유닛 (29)에 의해 조절된다. 방출 표면 (26)은 바람직하게는 몸체 (21)의 단부 (25) 중앙에 놓인다. 방출 표면 (26)은 바람직하게는 몸체 (21) 단면에 맞추어진 형태를 가진다. 이러한 방식으로, 원형 단면의 몸체 (21)인 경우, 방출 표면 (26)은 바람직하게는 원반이고, 몸체 (21)가 장방형 평행육면체이면, 방출 표면 (26)은 바람직하게는 도 9 또는 10에 도시된 바와 같이 띠 (band)일 수 있다.
- [0055] VCSEL은 직접 갭 반도체 (direct gap semiconductor)를 구비한 고체 레이저이고 비간섭광 만을 발생시키는LED와는 달리 간섭광을 방출한다.
- [0056] 도 2에 도시된 바와 같이, VCSEL은 광선의 방출 방향 (101)에 따라 적층된 층 구조체 (100)를 포함한다. 구조체 (100)는 특히 다음을 포함한다:
- [0057] 소위 하부 금속 접촉층 (102),
- [0058] n-타입 도핑을 가지는 반도체 기판 (103),
- [0059] n-타입 도핑을 가지는 소위 Bragg 거울 (104),
- [0060] 공명 수직 공동을 형성하는 적어도 하나의 양자 우물 (105),
- [0061] p-타입 도핑을 가지는 소위 상부 Bragg 거울 (106),

- [0062] 개구 (108)을 가지는 소위 상부 금속 접촉층 (107), 여기에 투명 및 전도성 금속 산화물 층이 적층되고, 광선 (109)이 방출된다.
- [0063] 따라서 VCSEL은 층들 (102~107)의 적층 방향에 실질적으로 수직한 기본 (elementary) 방출 표면 (110)을 통해 광선을 방출하고, 이는 트랜치 (tranche)를 통해, 즉, 층들의 적층 방향에 실질적으로 평행한 표면 (공동의 측면)에 의해 방출하는 종래 고체 레이저와 대조된다.
- [0064] VCSEL의 기본 방출 표면은 예를들면 수 백  $\mu\text{m}^2$  치수이고 수백  $\mu\text{m}^2$ 의 방출 표면에 대하여 가시광선에서 공급되는 광 출력은 수십 밀리 와트를 이상이다.
- [0065] 방출 방향 (101)에 수직하게 연장되는 층들의 구조체 (100) (“평면”이라고 알려진 기술)를 가진다는 사실은 밀리미터 표면에 엄청난 개수 (수백)를 연결하여 N개의 VCSEL을 포함하는 C-VCSEL “집적 레이저-회로”를 형성한다는 것이다. 특히 반도체 층 (103~106)을 통해 VCSEL 사이에 커플링이 없다면 C-VCSEL에서 방출되는 광에너지는 각각의 기본 VCSEL에 의해 방출되는 광에너지의 합이다. C-VCSEL은 LED와는 달리 거의 제로 발산의 고전력의 광 방출을 발생시킨다. C-VCSEL은 예를들면  $\text{mm}^2$  당 수십 광학 와트 이상의 전력을 생성한다.
- [0066] VCSEL의 모든 기본 방출 표면 (110)이 방출 표면 (26)을 형성하도록 다수의 VCSEL 광원 (23)은 C-VCSEL로 구성된다.
- [0067] C-VCSEL을 이용하면 LED의 램버시안 에너지 프로파일을 보정하기 위하여 선행기술에서 필요한 거울 없이도 몸체 (21)의 전체 길이에 걸쳐 광에너지를 전달할 수 있고, 그 결과 이들 거울과 연결되는 에너지 손실 및 주입기 요소 (20) 제작 비용이 줄어든다는 것을 이해하여야 한다.
- [0068] 이하 더욱 명백한 바와 같이, C-VCSEL은 유리하게는 방출 표면 (26)에 걸쳐 가변 에너지 밀도를 보이도록 구성된다. 숙련가는 이러한 결과에 이르는 다수의 기술을 알고 있고, 본 발명에 의한 광 주입기 요소는 임의의 기술에 제한되지 않는다.
- [0069] 특히, 복잡한 VCSEL 구조 (Bragg 거울, 활성 층들, 등)는 전도성 기판 (103) 상에 적어도 전체 C-VCSEL 표면의 에피택시 (예를들면 분자 제트에 의한 에피택시)에 의해 제조된다. 기본 VCSEL (즉, 각각의 VCSEL의 기본 방출 표면)의 분할 (Delimitation)은 광학 리소그래피로 구현된다. “광학 마스크”를 이용하여 C-VCSEL의 주어진 구역에서 각각의 VCSEL의 기본 방출 표면 (110) 치수 및 이들의 표면 밀도 (즉 두 개의 인접 VCSEL 사이에 피치 변동)를 정의하는 것이 가능하다. 숙련가에게 잘 알려진 바와 같이 연결 기술로 전자 제어의 필요성에 적합하게 마스크를 통해 적층체를 형성한다. 방출 표면 (26)에 “홀” 즉 VCSEL이 없는 구역을 제공하는 것이 가능하다. 명료한 설명을 위하여, 광 방출이 없지만 비-제로 광 방출 구역으로 둘러싸인 임의의 구역은 방출 표면 (26)의 일부를 형성하는 것으로 고려된다.
- [0070] 달리, C-VCSEL에서, 각각의 VCSEL은 개별적으로 전원 공급기 (28)에 연결된다. 이 경우, 제어 유닛 (29)은 VCSEL에 따라 상이한 전류 밀도를 전송하도록 개별적으로 전원 공급기 (28)를 조절하도록 구성된다. VCSEL 전압 또한 조절된다. C-VCSEL은 또한 구역들로 분할되고 각각의 구역의 VCSEL은 서로 및 구역 전용 전원 공급기 (28)에 연결된다. 이들 두 후자의 경우, 제어 유닛 (29)은 예를들면 매트릭스 제어 회로이다. VCSEL은 반대로 서로 및 단일 전원 공급기 (28)에 연결될 수 있다. 이 경우, 전원 공급기 (28)는 제어 유닛 (29)에 의해 조절되어 균일한 전류 또는 전압 밀도를 전송한다 (즉, VCSEL이 표면 단위 당 동일한 임피던스를 가진다면, 제어 전압은 모든 VCSEL에서 동일하다).
- [0071] 도 1에 도시된 실시예에서, 광원 (23)은, 몸체 (21) 상류에서, VCSEL에 의해 몸체 (21)의 측벽 (24)을 향하여 방출되도록 광선을 편향하는 발산 또는 수렴 입구 렌즈 (30)에 연결된다. 입구 렌즈 (30)는 몸체 (21)의 측벽 (24)을 향하여 편향되는 광선의 공격 각도를 조정하여 몸체 (21)에 의해 방출되는 에너지를 조절한다. 공격 각도는 바람직하게는 주입기 요소에 의해 방출되는 에너지가 미생물의 예정된 에너지 역치 및 소위 포화 에너지 사이에 있도록 선택된다. 에너지 역치는 광합성 개시에 필요한 최소 에너지에 해당된다. 다음으로 공격 각도는 입구 렌즈 (30)의 초점 거리  $f$ 를 결정한다. C-VCSEL은 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)에 평행한 실질적으로 통형 광선을 방출하고, 따라서 광선의 공격 각도는 더욱 용이하게 입구 렌즈 (30)에 의해 조절될 수 있다는 것을 이해하여야 한다. 또한, 이는 광선이 몸체 (21) 측벽 (24) 전체 길이에 걸쳐 입구 렌즈 (30)에 의해 편향될 때 생기는 광점을 보이고 따라서 몸체 (21)의 전 길이에 걸쳐 방출되는 에너지를 분배된다.
- [0072] 도 9에 도시된 바와 같이 장방형 평행육면체 형태의 몸체 (21)의 경우, 입구 렌즈 (30)는 각각 몸체 (21)의 두께 및 폭과 실질적으로 동일한 폭 및 길이를 가지는 발산 프리즘 (301)으로 대체된다. 프리즘 (30')의 면들은

몸체 (21)의 판들 (21a, 21b)을 따라 에너지를 최적으로 분배하기 위하여 평면이 아닐 수 있다.

- [0073] 도 1 및 3에 도시된 실시예들에서, C-VCSEL의 방출 표면 (26)은 실질적으로 몸체 (21) 단면과 동일한 치수이다. C-VCSEL의 방출 표면 (26)이 몸체 (21) 단면보다 작은 치수를 가진다면, 주입기 요소 (20)에는 또한 C-VCSEL의 확대 이미지를 투사하는 광학 시스템, 바람직하게는 광학 가이드 영역이, 몸체 (21) 입구에 배치되는 발산 렌즈 (또는 프리즘) (30)에 제공된다.
- [0074] 도 1에 도시된 실시예에서, 주입기 요소 (20)는 몸체 (21)의 원위단에 배열되는, 즉 광원 (23) 대향 단부에서 거울 (31)을 더욱 포함한다. 단부 거울 (31)은 몸체 (21)에서 광선을 반향하여 광원 (23)으로부터 멀어질 때 몸체 (21)에서 추출되는 에너지 손실을 보상하도록 구성된다. 단부 거울 (31)은 몸체 (21) 측벽 (24)에 의해 방출되는 에너지 흐름을 더욱 균일하게 한다. 단부 거울 (31)은 예를들면 평면 반사 표면, 반구, 원추 또는 포물선을 가질 수 있다. 바람직하게는, 거울 (31)의 반사 표면 프로파일은 단부 거울 (31)에 의해 반사되는 광에너지가 광원 (23)에 더욱 근접할수록 감소되어 광원 (23)에 복귀되는 에너지를 최대한 감소시키도록 결정된다. 사실 주입기 요소 (20)에서 에너지 손실을 제한하기 위하여 단부 거울 (31)에 직접 도달한 (즉, 몸체 (21) 측벽 (24)에 의해 반사되지 않은) 광선 일부 및 단부 거울 (31)에 도달한 몸체 (21) 측벽 (24)에 의해 반사되는 광 흐름을 몸체 (21)로 돌려 보내는 것이 바람직하다는 것은 명백하다. 또한, 주입기 요소 (20)에서 에너지 손실을 언제나 제한하기 위하여, 특히 방출되는 에너지 일부가 배양 배지 (12)로 전달되지 않고 가열을 방지하기 위하여 광원 (23)에 복귀되는 광선 일부를 줄이는 것이 유리하다는 것을 이해하여야 한다. 거울 (31)은 바람직하게는 몸체 (21) 단면과 동일한 치수를 가진다.
- [0075] 도 3에 도시된 바와 같이, 주입기 요소 (20)에는 또한 몸체 (21) 내부에 단부 거울 (31)을 마주 보고 배열되는 발산 또는 수렴 단부 렌즈 (32)가 끼워져 단부 거울 (31)에 대하여 반사되는 광선 일부의 몸체 (21) 측벽 (24)에 대한 공격 각도를 높인다. 이러한 방식으로, 단부 거울 (31)에 의해 반사되는 에너지는 더욱 신속하게 소모되고 이러한 에너지가 광원 (23)으로 복귀되지 않을 위험성이 제한된다.
- [0076] 바람직한 실시태양에 의하면, 광원 (23)은 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34)보다 주변 구역 (33)에서 더욱 많은 빛을 방출하도록 구성된다. 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34)은 바람직하게는 광을 방출하지 않는다. 이러한 방식으로, 단부 거울 (31)에 대하여 (즉, 몸체 (21) 측벽 (24)에 반사되지 않은) 직접 반사되는 광선 일부는 제한되거나 또는 제거되고, 따라서 단부 거울 (31)에 의해 광원 (23)을 향하여 직접 반사되는 에너지는 감소된다. 이는 또한 단부 거울 (31)에 의해 반사되는 에너지 양을 제한하고 따라서 이러한 반사와 연관되는 에너지 손실을 줄인다.
- [0077] 방출 표면 (26)에서 이러한 에너지 밀도를 가지는 광원 (23)의 예시적 방출 프로파일이 도 4에 도시된다. 이러한 실시예에서, 에너지 밀도는 중앙 구역 (34)에서 0이고 주변 구역 (33)에서 균일하다. 이러한 실시예에서, 몸체 (21)는 원통이고 방출 프로파일은 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)을 중심으로 회전-대칭성이다. 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34)은 원반 형태이고 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)은 고리 형태이다.
- [0078] 이러한 바람직한 실시태양에 의하면, 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34)은 예를들면 무-VCSEL을 포함한다. 포토 리소그래피에 의해 처리된 기판은 또한 중앙 구역 (34)의 VCSEL (VCSEL의 기본 방출 표면)을 비활성화하도록 구성되어, 주변 구역 (33)의 VCSEL만이 빛을 방출한다.
- [0079] 변형에 의하면, 제어 유닛 (29)은 광원 (23)을 조정하여 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)이 중앙 구역 (34)보다 더욱 많은 광을 방출한다. 이를 위하여, 제어 단위 (22)은 예를들면 중앙 구역 (34)의 VCSEL에 연결된 전원 공급기 또는 전원 공급기들 (28)에 명령하여 낮거나 또는 심지어 0의 전류 밀도를 전송하고, 주변 구역 (33)의 VCSEL에 연결된 전원 공급기 또는 전원 공급기들 (28)에 명령하여 더욱 강한 전류 밀도를 전송한다. 중앙 구역 (34)의 VCSEL은 바람직하게는 소멸된다. VCSEL은 또한 전압-조절식일 수 있다.
- [0080] 유리하게는, 광원 (23)은 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에서 불균일한 밀도의 에너지를 방출하도록 더욱 구성된다. 이를 위하여, 포토 리소그래피에 의해 처리되는 기판 (도 2에 도시된 구조체 (100)를 형성하는 층들 적층 후)는 방출 표면 (26) 주변 구역 (33)의 VCSEL 기본 방출 표면을 조정하도록 구성되어 (C-VCSEL에서) 불균일한 밀도의 에너지를 획득한다. 변형으로서, 제어 유닛 (29)은 전원 공급기 (28)에 명령하여 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에 불균일한 전류 밀도를 전달한다.
- [0081] 방출 표면 (26) 주변 구역 (33)에서 이러한 에너지 밀도를 가지는 C-VCSEL의 예시적 방출 프로파일이 도 5에 도시된다. 이러한 실시예에서, 몸체 (21)는 원통이고 방출 프로파일은 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)을 중심으로 회전-대칭성이다. 도 5는 중앙 구역 (34) 에지로부터 방출 표면 (26) 에지를 향하여 감소되는 에너지를 광원

(23)이 방출하도록 구성되는 것을 보인다. 더욱 상세하게는, 중앙 구역 (34) 에지로부터 연장되는 제1 구역에서 중앙 구역 (34)으로부터 멀어질수록 고수준의 에너지로부터 평균 고수준의 에너지로 에너지가 감소된 후, 제1 구역 에지로부터 방출 표면 (26) 에지를 향하여 연장되는 제2 구역에서 중앙 구역 (34)으로부터 멀어질수록 평균 저수준의 에너지로부터 저수준의 에너지로 에너지가 다시 감소된다. 제1 구역 및 제2 구역 사이의 계면에서 에너지 수준은 따라서 불연속적이다.

[0082] 도 6에 도시된 실시예에서, 주입기 요소 (20)는 상기 몸체 (21)를 따라 서로 이격되어 몸체 (21) 내부에 배열되는 다수의 광학 요소 (35i)를 더욱 포함하고, 광학 요소 (35i) 또한 광학 요소 (35i)가 광원 (23)으로부터 멀어질수록 중앙부 (36i)에서 전파되는 광선 일부가 더욱 감소되어 통과시키도록 구성된다. 이러한 방식으로, 광선이 광학 요소 (35i)를 통과할 때마다, 일부 에너지는 몸체 (21) 외부로 향하여 편향된다. 따라서 광학 요소 (35i)는 몸체 (21)를 따라 광선의 에너지를 분배한다.

[0083] 몸체 (21)를 따라 미생물 성장에 충분하게 몸체 (21)를 따라 평균 에너지가 균일하게 분포되도록 광원 (23)에서 방출되는 에너지를 제거할 수 있다는 것을 이해하여야 한다. 몸체 (21)를 따라 방출되는 에너지는 특히 미생물의 예정된 에너지 역치 및 소위 포화 에너지 사이에 있다. 에너지 역치는 광합성 개시에 필요한 최소 에너지에 해당된다.

[0084] 광학 요소 (35i)는 바람직하게는 몸체 (21) 단면과 동일한 형태 및 실질적으로 동일한 치수이고, 광학 요소 (35i)의 에지는 몸체 (21) 측벽 내면에 대향하여 배치된다. 이러한 방식으로, 원형 단면 몸체 (21)의 경우, 광학 요소 (35i)는 몸체 (21) 직경과 실질적으로 같은 직경을 가지고, 몸체 (21)가 장방형 평행육면체 형태인 경우 광학 요소 (35i)는 몸체 (21)의 폭 및 두께 각각과 실질적으로 같은 길이 및 폭을 가진다.

[0085] 예를들면, 광학 요소 (35i)는 "천공"되고, 몸체 (21)의 길이방향 축 (22)과 실질적으로 동축인 개구 (38i)를 가지므로 몸체 (21) 중앙부 (36i)에서 전파되는 광선 일부만이 편향되지 않고 통과된다. 또한 광학 요소 (35i)가 광원 (23)으로부터 멀어질수록 개구 (38i)는 작아진다.

[0086] 광학 요소 (35i)의 개구 (38i)는 바람직하게는 몸체 (21)의 단면과 동일한 형태이다. 이러한 방식으로, 몸체 (21)가 관형일 때 광학 요소 (35i)의 개구 (38i)는 바람직하게는 원형이고, 광학 요소 (35i)가 광원 (23)으로부터 멀어질수록 개구 (38i)의 직경  $D_i$ 은 더욱 작아진다.

[0087] 광학 요소 (35i)는 예를들면 발산 렌즈 또는 편향 프리즘, 특히 환형 프리즘일 수 있다. 렌즈 (35i)는 일치하는 또는 상이한 초점 거리를 가질 수 있다. 유사하게, 프리즘 (35i)은 일치하는 또는 상이한 기하구조를 가질 수 있다.

[0088] 몸체 (21)가 관형이면, 각각의 렌즈 (35i)는 예를들면 상기 몸체에 플라스틱 재료의 탄성 링 (미도시)에 의해 배치되고, 몸체 (21)의 내벽에 고정된다.

[0089] 도 6에 도시된 실시예에서, 주입기 요소 (20)는 관형이고 광학 요소 (35i)는 렌즈 (35i)가 광원 (23)으로부터 멀어질수록 작아지는 직경  $D_i$ 의 개구 (38i)를 가지는 발산 렌즈이다. 이들 실시예에서, 광원 (23)이 방출 방향으로 광선을 방출할 때, 렌즈 (35i)는 광선 일부를 취하고 이를 몸체 (21)의 외부로 향하여 편향시킨다. 따라서 렌즈 (35i)는 길이  $L_i$ 에 걸쳐 렌즈 (35i)의 초점 거리  $f_i$  및 직경  $D_i$ 에 따라 달라지는 몸체의 평균 에너지를 출력한다. 렌즈 (35i)에 의해 취해진 광선 일부는 길이  $L_i$ 에 걸쳐 주입되는 에너지를 결정한다. 길이  $L_i$  끝에서는, 새로운 광선 일부가 렌즈 (35i+1)에 의해 취해지고 (렌즈 (35i+1)가 렌즈 (35i)보다 작은 직경  $D_{i+1}$ 의 개구 (38i+1)를 가진다면) 렌즈 (35i+1)의 초점 거리  $f_{i+1}$  및 직경  $D_{i+1}$ 에 따라 길이  $L_{i+1}$ 에 걸쳐 몸체 (21) 밖으로 편향된다. 렌즈 (35i+1)에 의해 수용되는 파워 (power)는 개구 (38i 및 38i+1) 사이 표면 차이에 비례한다. 이러한 조작을  $n$  번 수행하면 (즉,  $n$ 개의 렌즈 (35i)를 몸체에 배치하면) 몸체 (21)의 전체 길이에 걸쳐 균일한 분포를 위한 광선 에너지의 점진적 제거가 가능하다는 것을 이해할 것이다.

[0090] 길이  $L_i$ 는 렌즈 (35i) 및 렌즈 (35i) 개구 (38i) 에지에 의해 몸체 (21) 측벽 (24)으로 편향되는 광선 일부의 공격 지점 간의 거리에 해당된다. 에너지를 몸체 (21) 전체 길이에 걸쳐 균일하게 분배하기 위하여, 렌즈 (35i+1)는 렌즈 (35i)로부터 길이  $L_i$ 에 해당하는 거리에 배치되는 것이 바람직하다는 것을 이해하여야 한다.

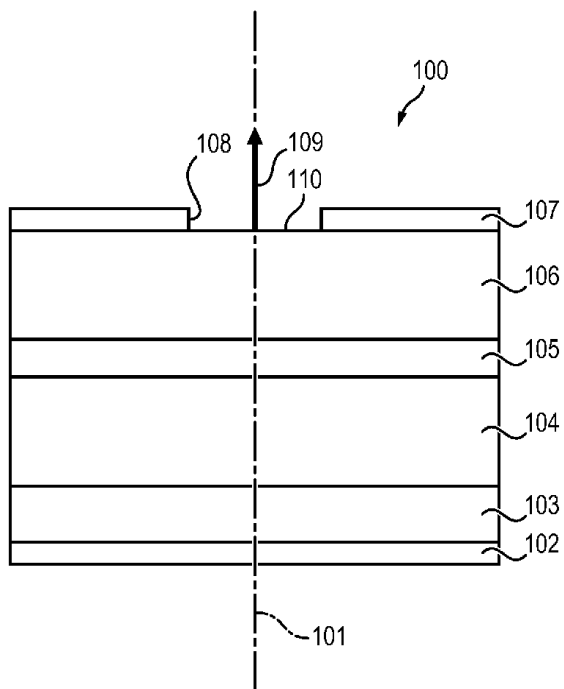
[0091] 또한 몸체 (21) 전체 길이에 걸쳐 균일한 에너지 분포를 달성하기 위하여 각각의 렌즈 (35i) 파라미터들은 렌즈 (35i)의 개수  $n$ 의 함수로써 최적화되어야 한다는 것을 이해하여야 한다. 이들 파라미터는 다음과 같다: 직경  $D_i$ , 길이  $L_i$  (또는 두 개의 연속 렌즈들 (35i 및 35i+1) 간의 거리), 및 각각의 렌즈 (35i) 초점 거리  $f_i$  또한 렌즈 (35i) 파라미터들의 최적화는, 광합성 미생물 성장을 위하여, 몸체 (21)에 의해 방출되는 평균 에너지가

에너지 역치 및 소위 미생물 포화 에너지 사이에 있어야 한다는 사실을 고려하여야 한다는 것은 명백하다.

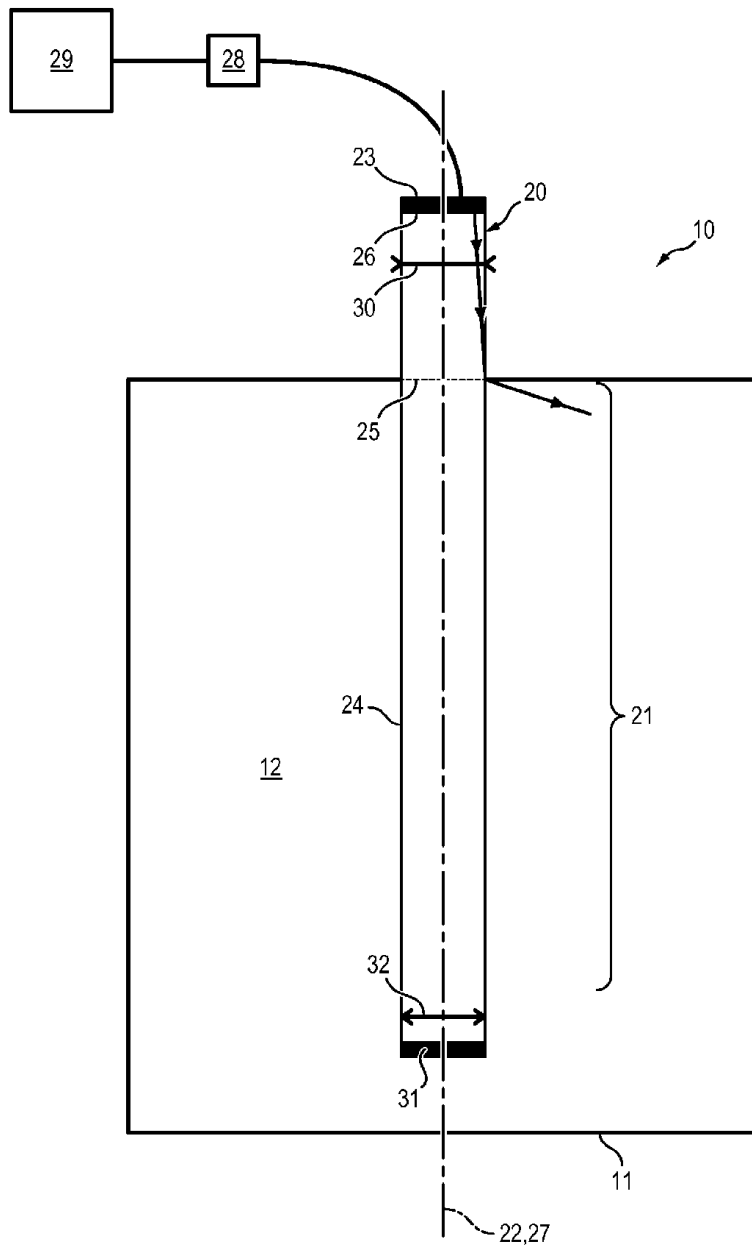
- [0092] 주입기 요소 (20)는 점차적으로 광선에서 운반되는 에너지를 제거하여 제어 가능한 방식으로 몸체 (21) 외부로 편향시킨다.
- [0093] 유리하게는, 광학 요소 (35i)는 방출 표면 (26)의 주변 구역 (33)에 의해 방출되는 모든 광을 몸체 (21) 외부로 향하여 편향하도록 구성된다. 이를 위하여, 방출 표면 (26)의 중앙 구역 (34) 치수는 레이저 광원 (23)에서 가장 먼 광학 요소 (35i)의 개구 (38i)의 치수 보다 크거나 같다. 사실 이러한 경우 광학 요소 (35i)에 의해 광선 전체가 편향되고 어떠한 광선 일부도 사전 편향되지 않고 단부 거울 (31)에 의해 직접 반사되지 않는다는 것을 이해하여야 한다. 이로써 에너지 손실을 초래하고 상기 광원 (23)을 과열시키는 단부 거울 (31)에 의한 광원 (23)으로의 직접 광선 반사가 방지된다.
- [0094] 변형으로서, 도 10에 도시된 바와 같이 장방형 평행육면체의 특정 형태의 몸체 (21)의 경우에, 개구 (38i)는 서로 마주보고 거리만큼 이격되는 편향 프리즘 (35i) 쌍들로 형성된다. 프리즘 쌍들 중 각각의 프리즘 (35i)은 몸체 (21) 반대측의 판 (21a, 21b)의 내면에 대향하여 놓이는 제1 에지, 및 프리즘 쌍의 다른 프리즘 (35i)의 제2 에지를 마주보고 거리  $d_i$ 만큼 연장되는 제2 에지를 가지고, 각각의 쌍의 프리즘 (35i) 사이의 거리  $d_i$ 는 개구 (38i)를 형성한다. 거리  $d_i$ 는 광학 요소 (35i)가 광원 (23)에서 멀어질수록 작아진다.
- [0095] 도 7 및 8은 C-VCSEL 이 각각 도 5 및 6에 도시된 에너지 방출 프로파일을 가질 때 광학 요소 (35i)를 포함하는 원통형 몸체 (21)를 가지는 주입기 요소 (20)에 의해 방출되는 에너지의 분포를 도시한 것이다. C-VCSEL이 도 5에 도시된 방출 프로파일을 가질 때 주입기 요소 (20)는 몸체 (21)를 따라 전체적으로 균일한 에너지 수준을 방출하고, 도 6에 도시된 방출 프로파일은 몸체 (21)를 따라 주입기 요소 (20)에 의해 방출되는 에너지의 분포 균일성을 더욱 개선시킨다는 것이 명백하다. 판들 (21a, 21b)의 전체 표면에 걸쳐 전반적으로 균일한 방출 프로파일을 가지는 예컨대 도 10에 도시된 주입기 요소 (20)에서도 유사한 결과를 얻는다.
- [0096] 광원 (23)으로서 C-VCSEL을 사용하고 광학 요소 (35i)를 조합한다는 사실은, 1 미터 이상의 상당한 길이 (도 1 및 3에 도시된 통형 몸체 (21)의 경우) 또는 대형 표면 (도 10에 도시된 장방형 평행육면체 형태의 몸체 (21)의 경우)을 가지고 특히 90% 이상의 높은 출력 (배양 배지으로 전달되는 전력/ C-VCSEL에 의해 방출되는 전력)을 가지는 주입기 요소 (20) 제작이 더욱 가능하다.
- [0097] 또한 제어 유닛 (29)은 펄스형 광을 방출하도록 광원 (23)을 조절하도록 구성된다. 특히, VCSEL로, GHz 이상의 고주파에서 광이 조정된다. 반대로, LED는 100 MHz 이상으로 구현될 수 있다.
- [0098] 주입기 요소 (20)는 또한 광원 (23)으로부터의 열 손실을 회복하기 위하여 평판식 열파이프에 부착될 수 있다. 평판식 열파이프는 배양 용기 (11) 외부에서 광원 (23)에 접촉되도록 배치된다. 이러한 방식으로, 배양 용기 (11)의 온도는 더욱 용이하게 광합성 미생물 성장에 적합한 온도로 유지될 수 있다.



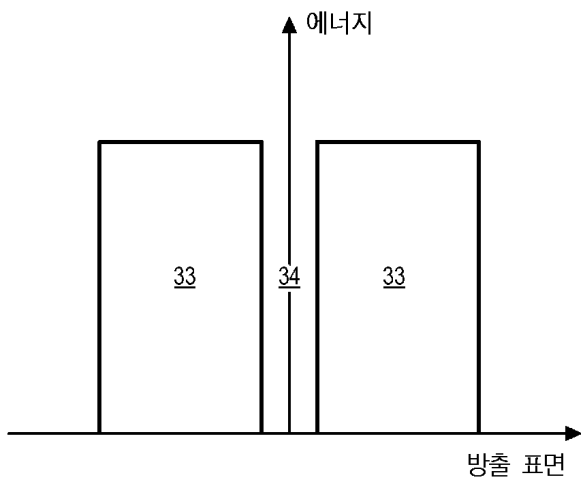
도면2



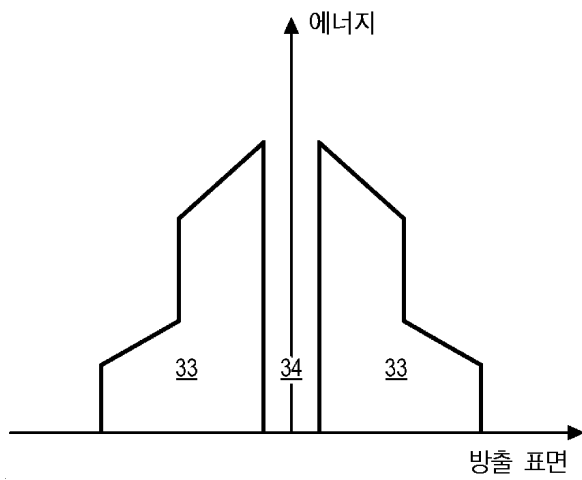
도면3



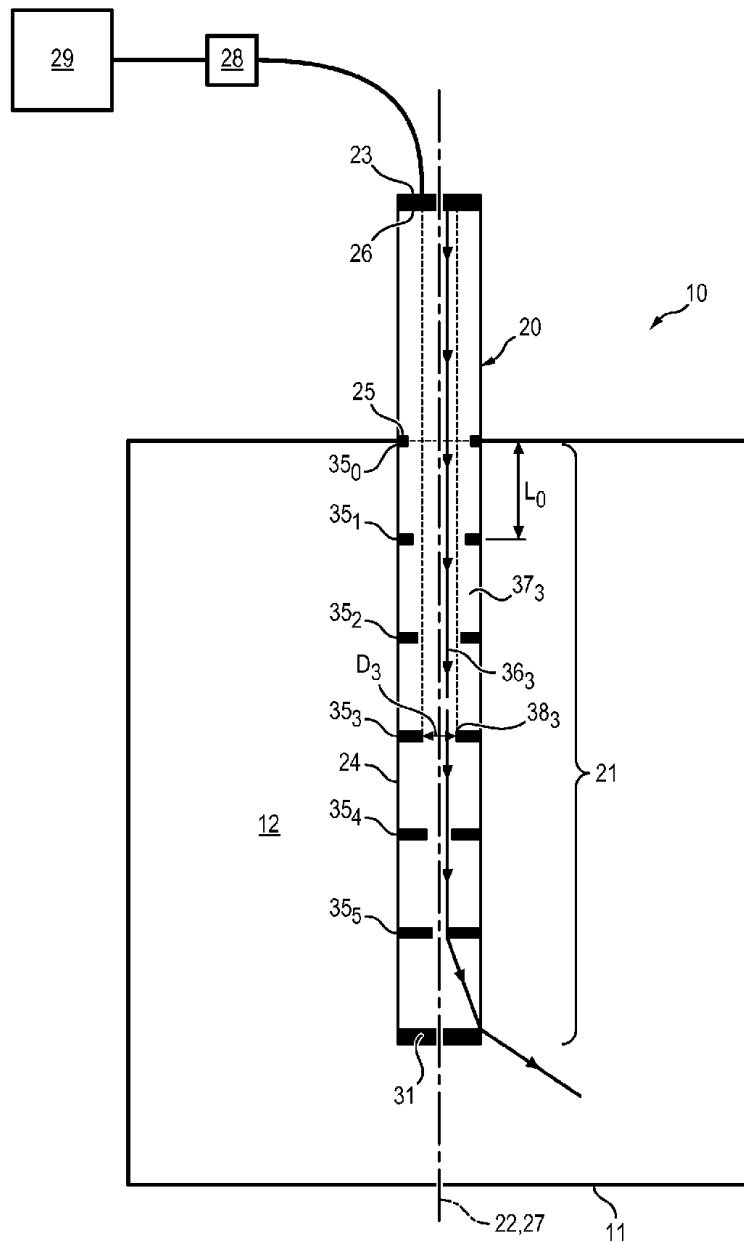
도면4



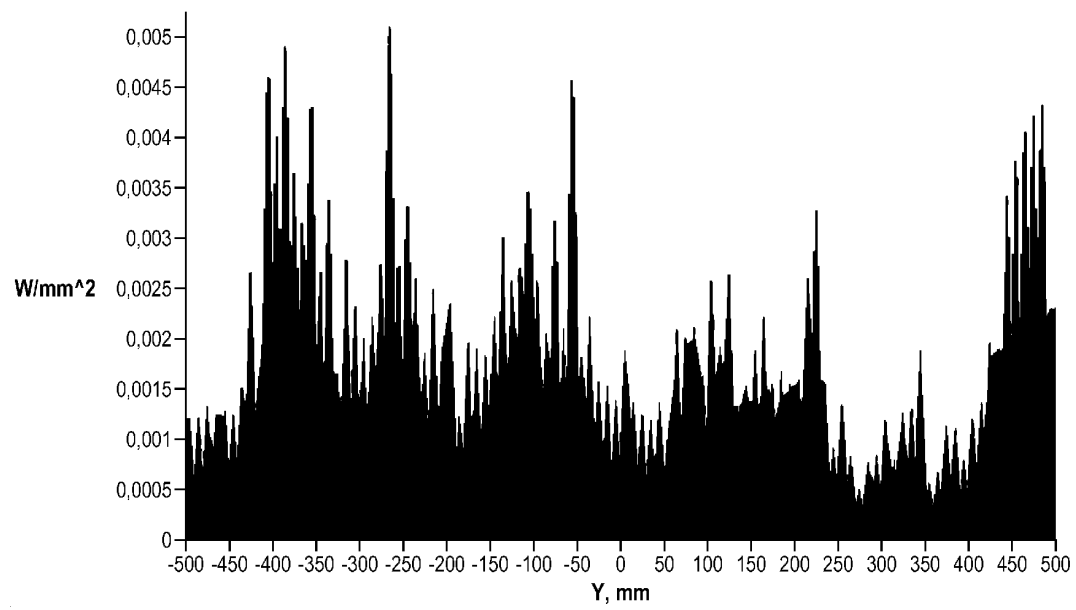
도면5



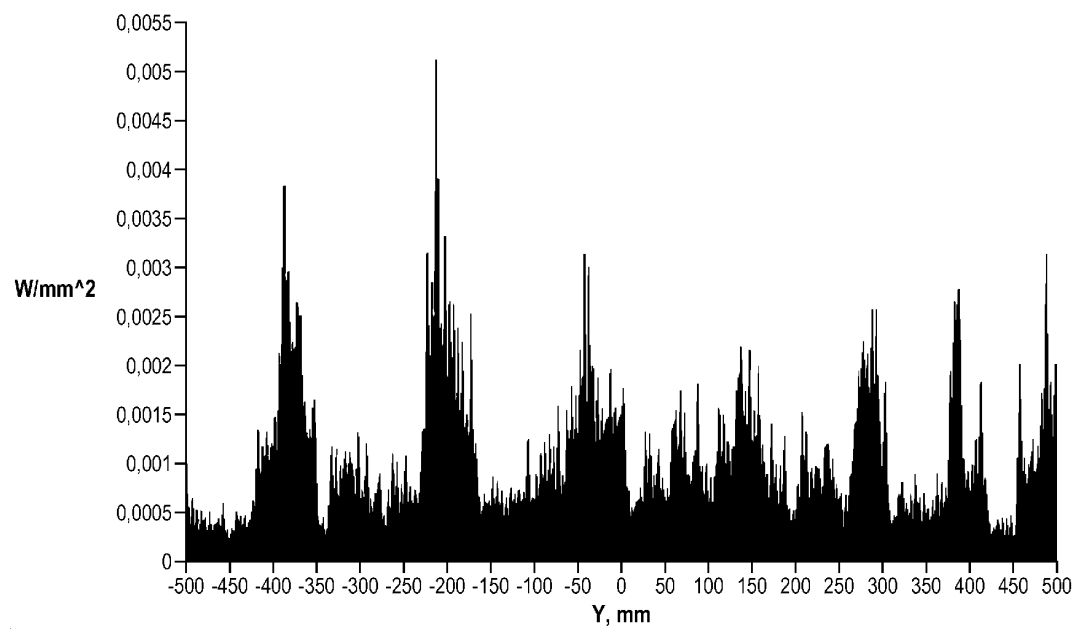
도면6



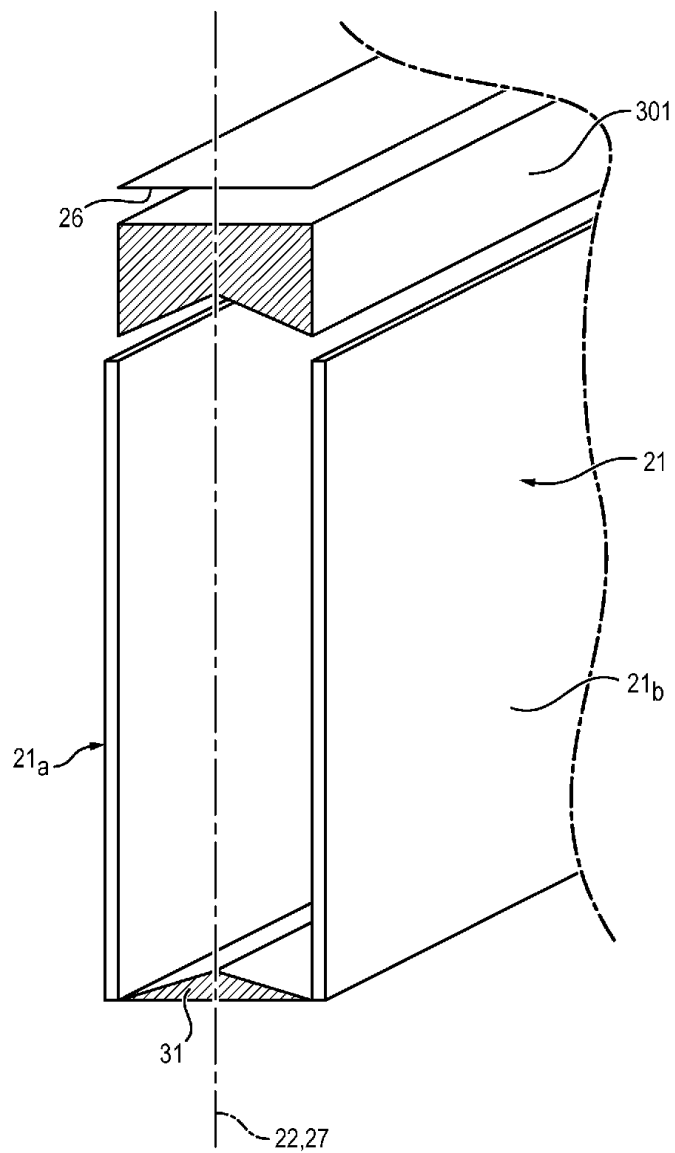
도면7



도면8



도면9



도면10

