



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0020967

(43) 공개일자 2024년02월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*C12M 1/42* (2017.01) *C12N 13/00* (2017.01)

(52) CPC특허분류

*C12M 35/02* (2013.01)*C12N 13/00* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0099344

(22) 출원일자 2022년08월09일

심사청구일자 2022년08월09일

(71) 출원인

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

손아정

서울특별시 마포구 백범로 230 (신공덕동, 브라운스톤 공덕 아파트) 102동 604호

이정은

충청북도 충주시 목행산단4로 13 105동 103호 (목행동, 한라비발디아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

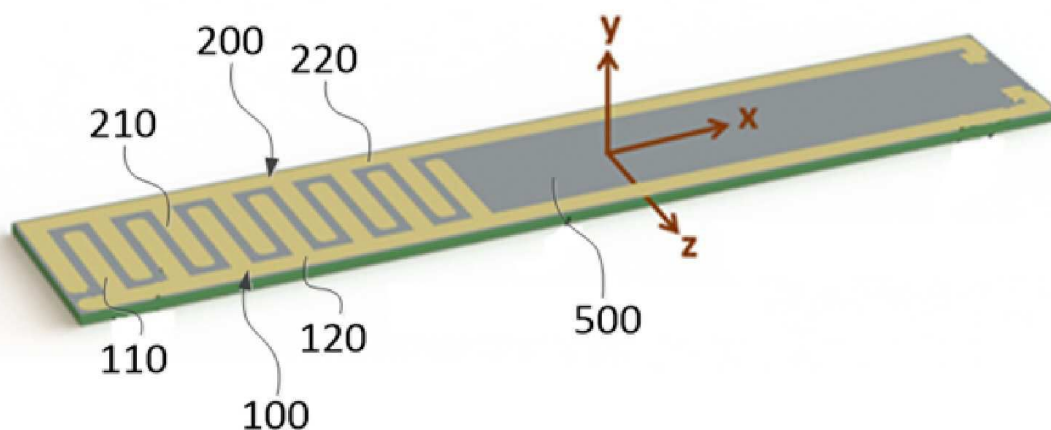
특허법인한얼

전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 바이오 필름 조절 장치 및 바이오 필름 조절 방법

**(57) 요약**

본 발명의 일 실시예에 따르면, 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴; 상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴을 포함하고, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어하는, 전극 구조체가 제공된다.

**대표도** - 도110

(72) 발명자

**채빌리**

서울특별시 마포구 백범로 230(신공덕동, 브라운스  
톤 공덕 아파트) 102동 604호

**이동현**

서울특별시 성북구 안암로 145

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711169611                       |
| 과제번호        | 2019R1A2C2084233                 |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                        |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                           |
| 연구사업명       | 개인기초연구(과기정통부)                    |
| 연구과제명       | 환경 시료에 의한 바이오센서 저해 특성 및 해결 기술 개발 |
| 기 여 율       | 1/1                              |
| 과제수행기관명     | 이화여자대학교                          |
| 연구기간        | 2022.03.01 ~ 2023.02.28          |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴;

상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴을 포함하고,

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어하는, 전극 구조체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 전극 패턴은 전원과 연결되며,

상기 제2 전극 패턴은 접지되는, 전극 구조체.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 전극 패턴에는 진동하는 전기 신호가 인가되는, 전극 구조체.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴은 기판의 동일 면 상에 제공되는, 전극 구조체.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 기판에서 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴이 제공된 면과 다른 면에 제공되는 제3 전극 패턴 및 제4 전극 패턴을 더 포함하고,

상기 제3 전극 패턴은 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하며,

상기 제4 전극 패턴은 제3 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제3 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖고,

상기 제3 전극 패턴과 상기 제4 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되는, 전극 구조체.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 각각의 표면은 절연층에 의해 커버되는, 전극 구조체.

#### 청구항 7

일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴;

상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴; 및

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름을 포함하고,

상기 바이오 필름은 수처리 대상인 원수(raw water)와 접촉될 수 있도록 원수의 유동로 또는 원수가 유입되는 챔버 내에 제공되어, 원수 내 유기 오염물질을 제거하고,

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 바이오 필름의 성장을 제어하는, 수처리 장치.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴은 절연층에 의해 커버되고,

상기 바이오 필름은 상기 절연층 상에 제공되는, 수처리 장치.

#### 청구항 9

제7항에 있어서,

상기 바이오 필름의 두께를 확인하고 상기 바이오 필름의 두께가 기설정된 값 이상일 경우, 상기 제1 전극 패턴에 전원을 인가하여 프린지 필드를 생성하는 전원 제어부를 더 포함하는, 수처리 장치.

#### 청구항 10

제7항에 있어서,

상기 바이오 필름의 두께 및 상기 원수의 처리량에 따라 상기 제1 전극 패턴에 제공된 상기 막대 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴에 제공된 상기 막대 전극 패턴간 거리를 조절할 수 있는, 수처리 장치.

#### 청구항 11

전극 구조체 상에 바이오 필름을 성장시키는 단계;

상기 바이오 필름이 부착된 상기 전극 구조체를 수처리 대상인 원수(raw water)와 접촉시키는 단계;

상기 바이오 필름의 성장 상태를 확인하여 상기 전극 구조체로부터 프린지 필드를 형성하는 단계를 포함하는, 수처리 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서,

상기 전극 구조체는 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴;

상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴을 포함하고,

상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어하는, 수처리 방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

본 발명은 바이오 필름 조절 장치 및 바이오 필름 조절 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

바이오 필름은 하이드로겔과 같은 고분자 매트릭스에 의해 보호되는 박테리아 세포들의 집합으로서, 해구의 가혹한 환경에서부터 인간 내장의 내벽에 이르는 방대한 적대적인 환경에서 번성할 수 있다. 바이오 필름은 일반적으로 제거해야 할 대상으로 취급 받지만 산업적으로 활용할 여지가 있다. 예를 들어, 폐수 처리 과정에서 바이오 필름은 회전하는 생물학적 접촉기, 트릭링 필터, 유동층 및 멤브레인 바이오 리액터와 같은 시스템에서 사용된다. 표면에서 번성하는 바이오 필름은 원수(raw water)에서 영양소와 질소, 인과 같은 유기 오염물질을 효율적으로 제거할 수 있다. 그러나, 바이오 필름이 과도하게 성장할 경우 오히려 생물 오염을 유발하여 폐수 처

리 과정을 무력화시킬 수 있다.

- [0003] 따라서, 바이오 필름을 산업적으로 이용하기 위해서는 바이오 필름의 성장 촉진과 억제 사이의 미묘한 균형이 필요하고, 이는 주기적인 유지 보수(예: 역세척, 공기 세척 또는 부품 교체)를 통해 달성할 수 있다. 그러나 이러한 유지 보수를 수행하기 위해서는 공정을 일시적으로 중단해야 한다는 문제가 있으며, 비용도 계속적으로 발생한다는 문제가 있다. 따라서, 유지 보수를 위한 공정 중단 없이 공정 내의 바이오 필름 성장을 조절할 수 있는 새로운 방법이 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0004] 본 발명은 저전압으로도 바이오 필름의 성장을 조절할 수 있는 전극 구조체와 전극 구조체를 포함하여 오염수를 처리할 수 있는 수처리 장치를 제공하는데 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0005] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴; 상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴을 포함하고, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어하는, 전극 구조체가 제공된다.
- [0006] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극 패턴은 전원과 연결되며, 상기 제2 전극 패턴은 접지되는, 전극 구조체가 제공된다.
- [0007] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극 패턴에는 진동하는 전기 신호가 인가되는, 전극 구조체가 제공된다.
- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴은 기관의 동일 면 상에 제공되는, 전극 구조체가 제공된다.
- [0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 기관에서 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴이 제공된 면과 다른 면에 제공되는 제3 전극 패턴 및 제4 전극 패턴을 더 포함하고, 상기 제3 전극 패턴은 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하며, 상기 제4 전극 패턴은 제3 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제3 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖고, 상기 제3 전극 패턴과 상기 제4 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되는, 전극 구조체가 제공된다.
- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 각각의 표면은 절연층에 의해 커버되는, 전극 구조체가 제공된다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴; 상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴; 및 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름을 포함하고, 상기 바이오 필름은 수처리 대상인 원수(raw water)와 접촉될 수 있도록 원수의 유동로 또는 원수가 유입되는 챔버 내에 제공되어, 원수 내 유기 오염물질을 제거하고, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 바이오 필름의 성장을 제어하는, 수처리 장치가 제공된다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴은 절연층에 의해 커버되고, 상기 바이오 필름은 상기 절연층 상에 제공되는, 수처리 장치가 제공된다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 바이오 필름의 두께를 확인하고 상기 바이오 필름의 두께가 기설정된 값 이상일 경우, 상기 제1 전극 패턴에 전원을 인가하여 프린지 필드를 생성하는 전원 제어부를 더 포함하는, 수처리 장치가 제공된다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 바이오 필름의 두께 및 상기 원수의 처리량에 따라 상기 제1 전극 패턴에 제공된 상기 막대 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴에 제공된 상기 막대 전극 패턴간 거리를 조절할 수 있는, 수처리 장치가 제공된다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전극 구조체 상에 바이오 필름을 성장시키는 단계; 상기 바이오 필름이 부착된 상기 전극 구조체를 수처리 대상인 원수(raw water)와 접촉시키는 단계; 상기 바이오 필름의 성장 상태를 확인하여 상기 전극 구조체로부터 프린지 필드를 형성하는 단계를 포함하는, 수처리 방법이 제공된다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전극 구조체는 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을 포함하는 제1 전극 패턴; 상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴을 포함하고, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어하는, 수처리 방법이 제공된다.

### 발명의 효과

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전극 구조체 표면에서 생성되는 프린지 필드를 이용하여 바이오 필름 성장을 억제할 수 있고, 프린지 필드가 대향하는 전극 사이에 형성되는 것이 아니라 전극 구조체 표면에서 발산, 수렴하는 형태로 형성되어 높은 수처리량을 확보하면서도 바이오 필름 성장 억제가 가능하다.

### 도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체를 나타낸 사시도이다.  
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체의 상면과 배면을 나타낸 평면도이다.  
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체의 단면도이다.  
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체를 포함하는 수처리 장치의 단면도이다.  
 도 5는 종래 기술에 따른 수처리 장치의 단면도이다.  
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 장치의 단면도이다.  
 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 방법을 나타낸 순서도이다.  
 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 전극 구조체 준비 방법을 나타낸 것이다.  
 도 9는 전극 구조체에 형성된 프린지 필드의 분석 결과이다.  
 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 바이오 필름의 광학 밀도 측정 결과 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체를 나타낸 사시도이다.

[0021] 도 1을 참고하면, 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴(110)을 포함하는 제1 전극 패턴(100); 제1 전극 패턴(100)에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴(110) 사이에 제공되어 제1 전극 패턴(100)과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴(200)을 포함하고, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200) 사이에 프린지 필드가 형성되어 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200) 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어하는, 전극 구조체(10)가 제공된다.

[0022] 전극 구조체(10)는 상술한 것과 같이 복수 개의 막대 전극 패턴들(110, 210)들이 맞물린(interdigitated) 구조의 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)을 갖도록 제공됨에 따라, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)의 표면에서 프린지 필드가 발생된다. 프린지 필드는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)의 표면에서 발산하였다가 다시 표면으로 수렴하는 형태로 발생된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체(10)에서는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)의 표면에서 상술한 것과 같이 발산-수렴하는 전기장이 형성되고, 종래 기술과 같이 마주보고 있는 두 전극 사이에서만 전기장이 형성되는 것이 아니기 때문에 전극 구조체(10) 배치를 자유롭게 할 수 있어 활용성이 우수하다.

[0023] 전극 구조체(10)의 형태는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)의 형태에 따라 결정될 수 있다. 다만, 제1

전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)이 복수 개의 막대 전극 패턴들(110, 210)이 맞물린 형태로 제공되므로, 이들의 집합체인 전극 구조체(10)는 일 방향을 따라 연장된 형태를 가질 수 있다. 이때 전극 구조체(10)가 연장된 방향을 따라 복수 개의 막대 전극 패턴들(110, 210)이 교번적으로 제공되며 맞물린 형태가 제공될 수 있다. 전극 구조체(10)는 평면 상에서 직사각형, 타원, 사다리꼴, 삼각형 등 다양한 형태를 가질 수 있다.

[0024] 전극 구조체(10) 상에는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)이 맞물린 형태로 제공된다.

[0025] 제1 전극 패턴(100)은 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴(110)을 포함한다. 이때 막대 전극 패턴(110)의 연장 방향은 앞서 살펴본 전극 구조체(10)의 연장 방향과 상이할 수 있다. 예를 들어, 도면에서 확인할 수 있듯이 막대 전극 패턴(110)은 z 방향으로 연장된 것일 수 있으며, 전극 구조체(10)는 x 방향으로 연장된 것일 수 있다.

[0026] 제1 전극 패턴(100)에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴(110)은 동일 평면 상에 제공될 수 있다. 구체적으로, 도면에서 xz 평면 상에, 복수 개의 막대 전극 패턴(110)이 소정의 간격으로 이격되어 제공될 수 있다.

[0027] 제1 전극 패턴(100)은 전도성 물질로 제작될 수 있다. 제1 전극 패턴(100)은 예를 들어, 전기 전도성이 우수한 금속 또는 ITO(Indium Tin Oxide)와 같은 무기화합물 그래핀 등으로 형성될 수 있다. 제1 전극 패턴(100)을 포함하는 전극 구조체(10)가 수중에서 사용될 수 있음을 고려하여, 내산화성이 강한 물질을 이용하여 제1 전극 패턴(100)을 제공할 수 있다. 이 경우, 예를 들어, 금(Au)을 이용하여 제1 전극 패턴(100)을 제공할 수 있다.

[0028] 제1 전극 패턴(100)을 제공하는 방법에는 특별한 제한이 없다. 예를 들어, 제1 전극 패턴(100)은 기판 상에 증착되거나, 와이어를 부착하는 등 다양한 형태로 제공될 수 있다.

[0029] 제1 전극 패턴(100)에 제공된 막대 전극 패턴(110)의 개수는 2개 이상일 수 있다. 복수 개의 막대 전극 패턴(110)을 제공함으로써 전극 구조체(10) 표면 상 넓은 영역에 걸쳐 프린지 필드를 제공할 수 있다. 생성된 프린지 필드는 전극 구조체(10) 표면 상에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어할 수 있으므로, 넓은 영역에 걸친 바이오 필름 제공, 이들의 성장 제어가 수행될 수 있다.

[0030] 제1 전극 패턴(100)에 제공된 상기 막대 전극 패턴(110)은 막대 전극 패턴(110)으로 전력을 공급하기 위해 전원과 연결되는 제1 전극 패턴 배선부(120)와 연결될 수 있다. 제1 전극 패턴 배선부(120)는 외부의 전원과 연결되며, 전극 구조체(10)의 연장 방향을 따라 연장될 수 있다. 경우에 따라 막대 전극 패턴(110)과 제1 전극 패턴 배선부(120)는 서로 다른 평면 상에 제공될 수 있다.

[0031] 제1 전극 패턴 배선부(120)를 통해 제1 전극 패턴(100)에 진동하는 전기 신호가 인가될 수 있다. 구체적으로 제1 전극 패턴(100)에는 사인 파동의 교류 전원이 연결되어 진동하는 전기 신호가 인가될 수 있고, 진동하는 전기 신호는 프린지 필드를 생성한다.

[0032] 다음으로, 제2 전극 패턴(200)은 상술한 제1 전극 패턴(100)과 맞물린 형태로 제공된다.

[0033] 제2 전극 패턴(200)은 제1 전극 패턴(100)과 마찬가지로 복수 개의 막대 전극 패턴(210)을 포함한다. 이때 제2 전극 패턴(200)에 포함된 막대 전극 패턴(210)은 일 방향으로 연장될 수 있다. 이때 제2 전극 패턴(200)에 포함된 막대 전극 패턴(210)의 연장 방향은 제1 전극 패턴(100)에 포함된 막대 전극 패턴(110)의 연장 방향과 반대 방향일 수 있다. 이렇게 두 막대 전극 패턴(110, 210)이 서로 반대 방향으로 연장됨에 따라 이들은 맞물린(interdigitated) 구조로 제공될 수 있다.

[0034] 제2 전극 패턴(200)이 반드시 제1 전극 패턴(100)과 동일 평면 상에 존재하는 것은 아니다. 도면에서는 제2 전극 패턴(200)과 제1 전극 패턴(100)이 모두 xz 평면 상에 존재하는 것으로 도시되어 있으나, 필요에 따라서는 두 부재를 서로 다른 평면 상에 제공할 수도 있다. 이 경우에도 제2 전극 패턴(200)과 제1 전극 패턴(100)은 맞물린 구조로 제공되는데, 막대 전극 패턴(110, 210)들은 서로 예각 내지는 둔각을 이루도록 비스듬하게 맞물릴 수 있다.

[0035] 제2 전극 패턴(200)에 제공된 막대 전극 패턴(210) 역시 복수 개 제공될 수 있다. 이때 제2 전극 패턴(200)에 제공된 막대 전극 패턴(210)의 수는 제1 전극 패턴(100)에 제공된 막대 전극 패턴(110)의 수와 동일할 수 있다. 이에 따라, 제2 전극 패턴(200)에 제공된 막대 전극 패턴(210)과 제1 전극 패턴(100)에 제공된 막대 전극 패턴(110)이 1:1로 매칭될 수 있으며, 1:1로 매칭된 두 막대 전극 패턴(110, 210) 사이에서 프린지 필드가 형성될 수 있다.

[0036] 제2 전극 패턴(200)에 제공된 막대 전극 패턴(210)은 제2 전극 패턴 배선부(220)와 연결될 수 있다. 제2 전극

패턴 배선부(220)는 접지될 수 있다. 이에 따라, 제1 전극 패턴(100)으로만 전력이 공급되고 접지된 제2 전극 패턴(200)과 제1 전극 패턴(100) 사이에 프린지 필드가 형성될 수 있다.

[0037] 제2 전극 패턴(200) 역시 전도성 물질로 제작될 수 있다. 제2 전극 패턴(200)은 예를 들어, 전기 전도성이 우수한 금속 또는 ITO(Indium Tin Oxide)와 같은 무기화합물 그래핀 등으로 형성될 수 있다. 제2 전극 패턴(200)은 제1 전극 패턴(100)과 동일한 물질로 제공되거나 다른 물질로 제공될 수 있다. 제2 전극 패턴(200)과 제1 전극 패턴(100)을 동일한 물질로 제공하는 경우 이들을 동시에 제공할 수 있다.

[0038] 제2 전극 패턴(200)과 제1 전극 패턴(100)에 포함된 막대 전극 패턴(110, 210) 사이의 거리와 각 막대 전극 패턴(110, 210)의 폭을 조절함으로써 프린지 필드의 세기를 조절할 수 있다. 따라서, 프린지 필드의 세기는 전압과 같은 다른 파라미터를 변경하지 않고도 조절할 수 있다. 따라서, 전극 구조체(10)에서 막대 전극 패턴(110, 210) 사이의 거리는 가변되도록 장치가 구성될 수 있다. 이 경우, 전극 구조체의 기본 설계를 변경하지 않고도 프린지 필드의 밀도와 범위를 조절할 수 있다. 구체적으로, 프린지 필드의 세기는 막대 전극 패턴(110, 210)의 폭과 겹을 좁힘으로써 강화할 수 있다.

[0039] 제2 전극 패턴(200)과 제1 전극 패턴(100)은 기판(500) 상에 제공될 수 있다. 기판(500)은 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)을 지지한다.

[0040] 기판(500)은 통전되지 않으며, 기계적, 화학적 안정성이 우수한 물질로 제공할 수 있다. 예를 들어, 기판(500)은 실리콘, 유리섬유 등을 포함하도록 제공될 수 있다. 기판(500)의 형태는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)을 지지할 수 있도록 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)의 형태를 고려하여 결정할 수 있다. 또한, 기판(500)은 필요에 따라 가요성(Flexibility)을 갖도록 제공될 수 있다.

[0041] 기판(500)은 상술한 것과 같이 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)을 지지하는데, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)은 기판(500)의 일면 상에 제공될 수 있다. 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)은 기판(500)의 동일한 면에 제공될 수 있다. 다만, 경우에 따라서는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)이 기판(500)의 서로 다른 면에 제공될 수 있고, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)의 적어도 일부가 기판(500)의 서로 다른 면에 제공될 수도 있다. 예를 들어, 제1 전극 패턴(100)에 포함된 제1 전극 패턴 배선부(120)와 제2 전극 패턴(200)에 포함된 제2 전극 패턴 배선부(220)는 기판(500)의 측면에 제공되고, 이들 중 어느 하나와 연결된 막대 전극 패턴(110, 210)은 기판(500)의 상면에 제공될 수 있다.

[0042] 기판(500)은 평평한 표면을 가질 수 있으나, 경우에 따라서는 평평하지 않은, 즉 굴곡이나 요철을 포함하는 표면을 가질 수도 있다. 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)은 기판(500)의 곡면 토폴로지에 맞게 형성될 수 있다. 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)은 폴리아미드, 폴리에스테르와 같은 유연한 소재에 쉽게 스크린 인쇄될 수 있다. 따라서, 다양한 형태와 소재의 기판(500)에 대하여 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)을 제공하여 전극 구조체(10)를 형성할 수 있기 때문에, 전극 구조체(10)는 확장성이 크다.

[0043] 상술한 부재들을 포함하는 전극 구조체(10)는 표면에서 발생하는 프린지 필드를 이용하여 전극 구조체(10) 표면에 제공된 바이오 필름의 성장을 제어한다. 여기서 바이오 필름이란 미생물의 군집으로 전극 구조체(10) 표면에 막(layer) 형태로 미생물이 성장해있는 것을 말한다.

[0044] 종래에는 바이오 필름 성장을 억제하기 위해 자외선을 조사하는 방법이 수행되었다. 혼탁 용액에서는 자외선이 부유 고체에 의해 가로막혀, 바이오 필름 상에 효과적으로 조사되지 못할 수 있다. 다른 방법으로는 바이오 필름의 성장도 특정 의약품 첨가를 통해 바이오 필름 성장을 억제하는 방법이 있다. 그러나, 이러한 방법들은 항균 저항성 및 원치 않는 돌연변이와 같은 알려지지 않은 부수적 현상을 유발할 수 있기 때문에 적합하지 않다. 또한, 의약품 자체도 물에서 제거되어야 할 주요 오염 물질들 중 하나라는 점에서 상술한 방법은 한계가 있다. 바이오 필름 성장을 감소시키기 위한 다른 가능한 접근법은 오존화, 염소화 및 초음파 조사를 포함한다. 그러나 오존화 및 염소화 역시 금속 합금 표면의 부식 및 유해한 부산물의 생성을 초래하기 때문에 적합하지 않다. 전기 출력(200mL 샘플의 경우 400W) 측면에서 초음파는 대형화하기가 어렵다.

[0045] 본원 발명에 따르면 바이오 필름 성장 억제를 위해 프린지 필드 형태의 전기장을 사용한다. 펄스 전기장(수 kV/cm)은 인지질 이중층(세포막)에 기공을 생성한다. 전기장은 단순성, 효율, 부작용 발생 여부를 고려할 때 바이오 필름 성장 억제에 활용하기 적합하다.

[0047] 상술한 전극 구조체는 도면에 도시된 것과 다른 형태로 구현될 수 있다. 예를 들어, 프린지 필드가 형성되는 영

역을 넓히기 위해 제1 전극 패턴과 제2 전극 패턴 외 추가적인 전극 패턴을 제공할 수 있다.

- [0048] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체의 상면과 배면을 나타낸 평면도이다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체의 단면도이다.
- [0049] 도 2와 도 3을 참고하면, 전극 구조체는 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200) 외 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400)을 추가로 포함할 수 있다.
- [0050] 이때, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)은 기관의 동일 면 상에 제공될 수 있고, 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400)은 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)이 제공된 면과 다른 면에 제공될 수 있다. 예를 들어, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)은 기관의 상면에 제공될 수 있고, 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400)은 기관의 배면에 제공될 수 있다.
- [0051] 제3 전극 패턴(300)은 제1 전극 패턴(100)과 대응되는 형태를 가지며, 제4 전극 패턴(400)은 제2 전극 패턴(200)과 대응되는 형태를 가질 수 있다. 또한, 제3 전극 패턴(300)과 제1 전극 패턴(100)은 전기적으로 연결될 수 있으며, 제4 전극 패턴(400)과 제2 전극 패턴(200) 역시 전기적으로 연결될 수 있다. 따라서, 상술한 것과 같이 제1 전극 패턴(100)이 전원과 연결되고, 제2 전극 패턴(200)이 접지되는 경우, 제1 전극 패턴(100)과 연결된 제3 전극 패턴(300)에도 전력이 공급되며, 제2 전극 패턴(200)과 연결된 제4 전극 패턴(400)은 접지될 수 있다. 따라서, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200) 사이에 프린지 필드가 형성되는 것처럼 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400) 사이에도 프린지 필드가 형성될 수 있다. 상술한 경우 제1 전극 패턴(100)과 제3 전극 패턴(300)이 전기적으로 연결되고 동일한 파형, 진동수의 전원이 인가되기 때문에, 두 전극 패턴은 하나의 연결된 도체와 같이 기능할 수 있다. 따라서, 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200) 사이에 형성되는 프린지 필드와 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400) 사이에 형성되는 프린지 필드가 동일할 수 있다.
- [0052] 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400)은 필요에 따라 각각 제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)과 연결되지 않을 수도 있다. 이 경우 제1 전극 패턴(100)과 독립적으로 제3 전극 패턴(300)에 전기적 신호를 인가하기 위한 별도의 전원을 제공할 수 있다. 제3 전극 패턴(300) 및 제4 전극 패턴(400)이 제1 전극 패턴(100) 및 제2 전극 패턴(200)과 독립적으로 제공되고 구동될 경우, 기관의 상면(제1 전극 패턴(100)과 제2 전극 패턴(200)이 제공된 면)에서 형성되는 프린지 필드와 기관의 배면(제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400)이 제공된 면)에서 형성되는 프린지 필드가 상이한 형태를 가질 수 있다. 이러한 경우는 특히 기관이 상면과 배면이 다른 형태, 크기를 갖는 때, 기관의 상면과 배면이 서로 다른 환경에 노출되는 때 유용할 수 있다. 따라서, 상술한 경우에는 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400)이 제1 전극 패턴(100) 및 제2 전극 패턴(200)과 상이한 형태를 가질 수 있다.
- [0053] 제3 전극 패턴(300)과 제4 전극 패턴(400) 사이에서도 프린지 필드가 형성됨에 따라 기관의 상면과 배면 양쪽 모두에서 프린지 필드가 형성될 수 있다. 이 경우 기관의 상면과 배면 양쪽에 바이오 필름을 성장시키고, 이들의 성장을 제어할 수 있으므로 바이오 필름 생성 및 제어 면적이 넓어질 수 있다. 따라서, 바이오 필름에 의한 유기 오염물질 제거 효과도 향상될 수 있다.
- [0054] 도면에는 4개의 전극 패턴이 제공되는 것이 도시되어 있으나, 필요에 따라서는 전극 패턴의 개수를 더 늘릴 수도 있다. 예를 들어, 직육면체 형태의 기관 상면, 배면, 양 측면에 각각 2개의 맞물린 전극 패턴을 제공하여 총 8개의 전극 패턴이 제공되도록 구성된 전극 구조체도 구현 가능하다.
- [0055] 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체는 전극 구조체 표면에서 전기장인 프린지 필드가 형성되기 때문에, 바이오 필름이 전극 사이에 제공되지 않아도 전기장을 이용한 바이오 필름 성장 조절이 가능하다. 이는 두 개의 대향하는 전극을 배치하고 대향하는 전극 사이에 형성되는 전기장을 이용했던 전극 구조체와 비교했을 때 활용성이 우수하다는 장점이 있다.
- [0057] 상술한 전극 구조체는 수처리 장치로 이용될 수 있다. 수처리 장치는 상술한 전극 구조체와 전극 구조체 표면에 제공된 바이오 필름을 포함하며, 바이오 필름은 수처리 장치 내부를 통과하는 물 속의 유기 오염물질을 제거할 수 있다.
- [0058] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체를 포함하는 수처리 장치의 단면도이며, 도 5는 종래 기술에 따른 수처리 장치의 단면도이다.
- [0059] 도 4를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 장치는 일 방향으로 연장된 복수 개의 막대 전극 패턴을

포함하는 제1 전극 패턴; 상기 제1 전극 패턴에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에 제공되어 상기 제1 전극 패턴과 맞물린 형태를 갖는 제2 전극 패턴; 및 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 중 적어도 하나의 표면 상에 제공된 바이오 필름을 포함하고, 상기 바이오 필름은 수처리 대상인 원수(raw water)와 접촉될 수 있도록 원수의 유동로 또는 원수가 유입되는 챔버 내에 제공되어, 원수 내 유기 오염물질을 제거하고, 상기 제1 전극 패턴과 상기 제2 전극 패턴 사이에 프린지 필드가 형성되어 상기 바이오 필름의 성장을 제어한다.

[0060] 도면에서 확인할 수 있듯이, 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 장치의 경우, 전극 구조체에 제공된 복수 개의 막대 전극 패턴 사이에서 프린지 필드가 형성된다. 이에 따라, 프린지 필드는 전극 구조체 표면에서 발산하였다가 다시 표면으로 수렴하는 형태로 형성된다. 프린지 필드가 상술한 형태로 형성되기 때문에, 본 발명의 일 실시예에 따르면 전극 구조체 표면에 바이오 필름이 제공되어도 전기장을 이용하여 바이오 필름 성장 제어가 가능하다.

[0061] 이와 비교했을 때 대향하는 전극을 배치한 전극 구조체의 경우, 대향하는 두 전극 사이에 바이오 필름이 존재해야지만 바이오 필름 성장 제어가 가능하다는 문제가 있었다.

[0062] 도 5를 참고하면, 종래의 경우 대향하는 두 전극 사이에 형성된 직선 전기장을 사용했으며, 외부로 노출된 베어 전극(bare electrode)을 사용하기도 하였다. 그러나 이러한 전극 구조체의 형태는 폐수 처리에 적합하지 않다. 베어 전극은 패러디 전류를 발생시키고 금속 이온과 자유 라디칼과 같은 갈바닉 부산물을 생성하기 때문에 바람직하지 않을 수 있다. 또한 전기장이 형성되는 영역은 두 전극 사이 영역으로 제한되기 때문에 바이오 필름이 전극 사이에 제공된 경우에만 바이오 필름에 전기장을 인가할 수 있었다. 이 경우 바이오 필름이 제공된 두 전극 사이로 처리 대상인 원수(raw water)가 유동하므로, 전극 사이의 거리에 따라 원수의 유량이 결정된다는 문제가 있었다. 원수의 유량을 늘리기 위해 전극 사이 거리를 넓히면 바이오 필름의 성장을 제어할만한 전기장을 형성하기 위해 전극에 고전압을 인가해야 했다. 그러나, 고전압을 인가할 경우 상술한 것과 같이 금속 이온, 자유 라디칼과 같은 갈바닉 부산물이 생성될 수 있어 수처리에 문제가 발생할 수 있었다. 또한, 전극 사이의 거리를 좁힐 경우 상대적으로 낮은 전압으로 작동시킬 수 있으나, 앞서 서술한 것과 같이 원수 유량이 줄어든다는 문제가 있었다.

[0063] 이와 비교했을 때, 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 장치는 전극 구조체가 저전압에서 작동하는 동안 물이 자유롭게 흐를 수 있도록 한다. 전극 구조체는 서로 인접한 막대 전극 패턴(제1 전극 패턴의 막대 전극 패턴과 제2 전극 패턴의 막대 전극 패턴) 사이에서 프린지 필드가 발생하고, 두 막대 전극 패턴은 매우 가깝게 위치하기 때문에 저전력으로도 전기장 형성이 가능하다.

[0064] 전극 구조체의 제1 전극 패턴과 제2 전극 패턴은 절연층에 의해 커버될 수 있다. 바이오 필름은 절연층 표면에서 성장하며, 바이오 필름의 성장은 저주파에서 작은 진동(교류, AC) 신호에 의해 조절된다. 절연층은 바이오 필름 성장 중 세균 배양과 옴 및 갈바닉 상호 작용을 방지할 수 있다.

[0065] 수처리 장치에는 바이오 필름(20)의 두께를 확인하고 상기 바이오 필름(20)의 두께가 기설정된 값 이상일 경우, 상기 제1 전극 패턴에 전원을 인가하여 프린지 필드를 생성하는 전원 제어부가 더 제공될 수 있다. 바이오 필름(20)의 두께 확인은 전극 구조체 표면에 설치된 눈금자를 읽음으로써 수행되거나, 광학적 방법을 이용하여 수행되는 등 다양한 방법으로 수행될 수 있다.

[0067] 다음으로 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 장치의 단면도이다.

[0068] 도 6을 참고하면, 수처리 장치 내에는 복수 개의 전극 구조체(10)가 제공될 수 있다. 각 전극 구조체(10)의 표면 상에는 바이오 필름(20)이 제공된다. 바이오 필름(20)은 수처리 장치의 유동로를 따라 원수가 유입되고 바이오 필름(20)에 의해 유기 오염 물질이 제거된 후 빠져나간다.

[0069] 이때 전극 구조체(10)는 유동로를 따라 복수 개가 제공될 수 있으며, 이들에 의해 수처리 장치 내부로 유입된 원수가 처리될 수 있다. 경우에 따라서는 도면에 개시되어 있는 것과 같이 파이프 형태의 유동로를 통해 물이 처리 후 빠져나가는 형태가 아니라 도 4에 개시되어 있는 것과 같이 배치 형태로 제공될 수도 있다.

[0071] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 방법을 나타낸 순서도이다.

[0072] 도 7을 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 수처리 방법은 전극 구조체 상에 바이오 필름을 성장시키는 단계

(S100); 상기 바이오 필름이 부착된 상기 전극 구조체를 수처리 대상인 원수(raw water)와 접촉시키는 단계(S200); 상기 바이오 필름의 성장 상태를 확인하여 상기 전극 구조체로부터 프린지 필드를 형성하는 단계(S300)를 포함한다.

[0073] 바이오 필름을 성장시키는 단계(S100)는 미생물을 선택하여 전극 구조체 표면에 이식하고 미생물이 성장할 수 있는 환경을 조성함으로써 수행될 수 있다. 또는 미생물을 다른 곳에서 필름 형태로 성장시킨 후 전극 구조체 표면에 이식하는 방법으로 수행할 수도 있다.

[0074] 다음으로, 바이오 필름이 부착된 전극 구조체와 원수(raw water)를 접촉시키는 단계(S200)는 앞서 검토한 것과 같이 배치 형태 또는 파이프 형태의 수처리 장치 내에 원수를 유입시키고, 이를 바이오 필름이 부착된 전극 구조체와 접촉시키는 것이다. 바이오 필름과 원수의 접촉 시간은 원수의 상태에 따라 달리할 수 있다. 또한, 필요에 따라서는 원수와 바이오 필름을 접촉시키기 전에 원수를 물리적으로 여과하는 단계를 추가로 수행할 수도 있다.

[0075] 다음으로, 바이오 필름의 성장 상태를 확인하여 전극 구조체로부터 프린지 필드를 형성하는 단계(S300)가 수행된다. 프린지 필드를 형성하기 위해서 전극 구조체에 앞서 살펴본 것과 같이 진동하는 전원을 인가할 수 있다. 또한, 프린지 필드의 세기는 바이오 필름의 성장 상태, 두께 등을 고려하여 결정할 수 있다.

[0077] 이상에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 구조체, 수처리 장치 및 수처리 방법에 대하여 살펴보았다. 이하에서는 실험예를 통해 전극 구조체, 수처리 장치에 대하여 살펴보려고 한다.

[0078] 이하에서는 표면으로부터 다양한 거리에서 바이오 필름을 통과하는 자기장 강도를 2차원 전기장 시뮬레이션을 통해 추정하였다. 전기장 분포에 미치는 바이오 필름의 영향도 살펴볼 수 있다. 프린지 필드 설계의 전극 구조체는 인쇄 회로 기판을 사용하여 제작되었으며 바이오 필름 부착 및 성장을 위한 표면으로 사용되었다.

#### [0079] 제조예 1. 전극 구조체의 설계

[0080] 제안된 프린지 필드 설계 전극 구조체는 서로 교차하는 막대 전극 패턴 또는 맞물린 전극으로 구성되었다. 맞물린 전극 형태는 두 전극 사이의 중첩 면적을 최대화하는 설계이다. 전극은 견고한 지지대 또는 유연한 지지대 상에 2차원 스텐실링 기법(예: 잉크젯 프린팅 또는 스크린 프린팅)을 사용하여 제작할 수 있다.

[0081] 유리섬유 기판의 상면 및 하면 양면에 막대 전극 패턴이 지지된다. 또한 막대 전극 패턴 상에는 에폭시 절연체(두께 약 20  $\mu\text{m}$ )의 얇은 층이 코팅되어 있어 바이오 필름 성장 중 세균 배양과 움 및 갈바니 상호 작용을 방지할 수 있다. 전극 구조체의 주요 치수는 표 1에 요약되어 있다.

**표 1**

| Features                                                           | 치수      |
|--------------------------------------------------------------------|---------|
| 전체 길이(Total Length)                                                | 155 mm  |
| 전체 폭(Total Width)                                                  | 24 mm   |
| 전체 두께(Total Thickness)                                             | 1.6 mm  |
| 막대 전극 패턴 두께(Electrode Finger Thickness)                            | 0.06 mm |
| 막대 전극 패턴 길이(Electrode Finger Length)                               | 15 mm   |
| 막대 전극 패턴 폭(Electrode Finger Width)                                 | 5 mm    |
| 막대 전극 패턴간 간격(Electrode Finger Spacing)                             | 1.5 mm  |
| 각 전극 패턴에 제공된 막대 전극 패턴의 수(Number of Electrode Fingers per Polarity) | 7       |

[0083] 막대 전극 패턴 사이에서 프린지 필드가 생성될 수 있도록 고체 코어 와이어(직경 약 0.64 mm)를 전기 연결부에 납땜하였다. 이렇게 하면 반대편 전극 패턴이 접지되어 있는 동안 진동하는 전기 신호를 한쪽의 전극 패턴으로 보낼 수 있다. 이러한 방식으로, 진동하는 프린지 필드가 두 전극 패턴 사이에 생성될 수 있으며 전극 패턴 표면의 어떤 생체막도 통과할 수 있다. 기판의 상면과 하면 양쪽에 동일한 배선 구성이 사용되었다.

#### [0084] 제조예 2. 전극 구조체에 의한 프린지 필드 모델링

[0085] 프린지 필드 전극 구조체 표면의 전기장 분포가 모델링되었다. 목표 전기장은 Y 방향( $E_y$ )의 막대 전극 패턴 바로 위에 있기 때문에 2차원 모델로도 충분하다. 모델은 10 mm  $\times$  34 mm 유전체 블록(상대 전기 유전율  $\epsilon_r = 81$

로 물(water)로 지정)의 베이스에 막대 전극 패턴 5개로 구성되었다. 진동하는 전기신호로 10 Vpp(피크 투 피크) 사인파를 사용하였으므로, 막대 전극 패턴(좌우)에 10 V, 0 V, 10 V, 0 V, 10 V로 전위를 할당하여 작동 시 최대 전장을 시뮬레이션하였다. 유한 요소 모델을 계산한 후,  $E_y$  전기장 강도(V/m) 대 막대 전극 패턴 표면으로부터의 거리(mm)를 플롯하였다.

[0086] 바이오 필름을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의  $E_y$  장 강도의 차이도 상기 모델의 간이 버전을 사용하여 조사하였다. 효율적인 연산이 용이하도록 막대 전극 패턴의 수를 5개에서 3개로 줄였다. 두 개의 유전체 블록을 채용하여 물(두께 3.5 mm, 상대 전기 유전율  $\epsilon_r = 81$ )과 바이오 필름(두께 0.5 mm, 상대 전기 유전율  $\epsilon_r = 40$ )으로 할당하였다. 바이오 필름이 없는  $E_y$  장 강도는 두 유전체 블록을 모두 물로 할당하여 계산하였다. 바이오 필름을 사용한  $E_y$  장 강도는 하부 유전체 블록을 바이오 필름으로 할당하여 계산하였다. 계산 후, 두 시나리오 모두에 대해  $E_y$  필드 강도(V/m) 대 막대 전극 패턴 표면으로부터의 거리(mm)를 표시하였다.

### [0088] 제조예 3. 전극 구조체 표면에 바이오 필름 형성

[0089] 구체적으로, 대장균 K12가 모델 박테리아로 선택되었다. E.coli K12는 Luria-Bertani growth(BD biosciences, San Jose, USA)가 100 mL 함유된 250 mL 플라스크에 배양되었다. 배양물은 주변 온도에서 24시간 동안 100rpm의 흔들림 속도로 배양되었다. 광학 밀도는 분광 광도계를 사용하여 600 nm(OD 600 nm)에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. 주변 온도에서 24시간 배양한 15 mL 배양액을 깨끗한 LB broth 100 mL로 이송하였다. 대장균 K12 세균배양의 성장곡선은 48시간 동안 설명한 분광광도계를 이용하여 광학밀도(OD 600 nm)를 측정하여 분석하였다.

[0090] 전극 구조체를 대장균 K12 세균 배양액 30 mL가 담긴 50 mL 원추형 튜브에 담갔다. 막대 전극 패턴은 세균 배양 내에 잠기고, 증발을 최소화하기 위해 원추형 튜브의 상단을 밀봉하였다. 전극 구조체는 납땜된 고체 코어 와이어를 통해 함수 발생기에 전기적으로 연결되었다. 프린지장은 교류신호가 있는 전극들을 10, 100 kHz(sinusoidal wave)의 주파수에서 10 Vpp(피크 대 피크 전압)로 구동하여 생성하였다. 각 주파수마다 5개의 프린지 필드 전극 구조체가 작동했다(두 주파수 모두 10개의 장치). 두 개의 추가 프린지 필드 전극 구조체가 대조군으로 지정되었다(0 Vpp에서 0 kHz 주파수). 12개의 전극 구조체 모두 동시에 세균 배양(원추관당 하나의 장치)에 있었다. 프린지 필드 전극 구조체 침지는 상온에서 약 4일 동안 지속되었다.

[0091] 다음으로, 원뿔형 튜브에서 프린지 필드 전극 구조체를 제거한 후, 바이오 필름의 일부가 아닌 균을 씻어내기 위해 탈이온수 비커에 세 번 부드럽게 침지했다. 행군 후, 프린지 필드 전극 구조체를 후드에서 수직으로 공기 건조했다. 프린지 필드 전극 구조체를 건조한 후 탈이온수로 적신 면봉을 사용하여 바이오 필름을 채취했다.

[0092] 바이오 필름을 채취한 면봉을 손잡이에서 분리하여 5 mL 튜브에 담긴 3 mL의 탈이온수에 침지하였다. 채취한 바이오 필름을 면봉에서 느슨하게 하기 위해 수조에서 1분간 초음파 처리했다. 초음파 처리 후, 바이오 필름에 대해 ATP와 광학 밀도 측정을 수행했다.

### [0094] 실험예 1. 전극 구조체 제조 및 전원 인가 실험

[0095] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 전극 구조체 준비 방법을 나타낸 것이다.

[0096] 전극 구조체의 맞물린 전극은 잘 치수화된 간격에 의해 이격되어 있다. 막대 전극 패턴의 모서리는 제조 공정(그림 8의 a)의 결과로 약간 둥글게 처리된다. 그림 8의 d와 같이, 많은 수의 전극 구조체가 동시에 실행되기 때문에, 느린 셰이커를 통한 배선은 서로 교차해야 했다. 그러나 저주파(100kHz 이하)의 사용으로 인해 크로스톡과 간섭이 발생할 것으로 예상되지 않았다. 딥 린스(dip rinsing) 후 공기 건조 공정으로 인해 커피 링 효과가 막대 전극 패턴이 아닌 막대 전극 패턴에서 멀어졌다(그림 8의 e). 바이오 필름 채취 과정은 아마도 변동성에 가장 취약할 것이다(그림 8의 f). 모든 전극 구조체에 대해 동일한 면봉 동작을 사용하여 동일한 개인이 수행했습니다. 그림 8의 g 및 8의 h에 나타난 바와 같이, 예상대로 공기로 건조된 바이오 필름은 육안으로는 거의 보이지 않았다.

### [0098] 실험예 2. 프린지 필드 형성 및 분석

[0099] 도 9는 전극 구조체에 형성된 프린지 필드의 분석 결과이다.

[0100] 5개의 막대 전극 패턴에 걸친 프린지 필드 분포는 그림 9의 a에 나와있다. 달성된 최대 전계 강도는 15.19 V/cm(전극 표면으로부터의 거리 = 0.05 mm)였다. 이러한 전계 강도는 전극 표면과의 거리가 0.05 mm에서 1 mm( $y = -3.00x + 15.3$ )로 증가함에 따라 선형적으로 감소하였다. 1 mm에서 전계 강도는 12.3 V/cm였다. 전극 표면에서의 바이오 필름 두께는 확실히 1 mm 미만이기 때문에, 이는 바이오 필름이 적어도 12.3 V/cm의 전계를 거쳤음을 의미한다. 이 값은 베어 전극에서 관측되는 값인 약 2 V/cm ~ 4 V/cm 보다 높다. 일반적으로 바이오 필름 두께는 2 mm를 초과하지 않는다. 2 mm에서, 프린지 필드 소자의 전계 강도는 9.43 V/cm로 베어 전극에 의한 전계 강도에 비해 여전히 높았다.

[0101] 시뮬레이션 모델에 바이오 필름 층을 포함하도록 수정한 후 시뮬레이션 결과에 약간의 변화가 있다(그림 9의 b). 0.05 mm에서의 전계 강도는 15.2 V/cm에서 15.6 V/cm로 증가하였다. 마찬가지로, 1 mm에서의 전계 강도는 12.3 V/cm에서 13.3 V/cm로 증가하였다. 그림에도 불구하고, 이 시뮬레이션에서 도출된 결론에는 영향을 미치지 않는다. 그림 9의 c와 같이, 바이오 필름(두께 약 0.5 mm)의 존재는 전기장 라인이 그 내부에 집중되도록 유도하였다. 이는 바이오 필름이 물( $\epsilon_r = 81$ )보다 낮은 상대 유전율( $\epsilon_r = 40$ )을 가지고 있기 때문이다. 그 결과, 전극 표면으로부터 0.05 mm 떨어진 곳에서 바이오 필름 내의 전계 강도는 28.75 V/cm로 거의 2배가 되었다. 전기장 분포의 불연속성은 바이오 필름과 물의 계면에서 뚜렷하게 나타난다. 이러한 시뮬레이션 결과의 의의는 바이오 필름이 프린지 필드 장치에서 성장함에 따라 투과된 전기장이 강해지고 성장 억제가 더욱 뚜렷해짐을 의미한다.

### [0103] 실험예 3. 바이오 필름의 광학 밀도 측정

[0104] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 바이오 필름의 광학 밀도 측정 결과 그래프이다.

[0105] 각 바이오 필름 수확의 광학 밀도(OD)는 다음과 같이 프린지 필드 전극 구조체가 물에 잠긴 육수의 광학 밀도(OD)로 정규화된다.

$$\text{Broth Normalized OD} = \frac{\text{Biofilm Harvest OD}}{\text{Broth OD}} \times 100$$

[0106] (1)

[0108] 그림 10의 a와 그림 10의 b와 같이 대조군, 10, 100 kHz에 대한 정규화 광학적 밀도는  $3.81 \pm 0.12$ ,  $4.00 \pm 0.40$ ,  $3.43 \pm 0.26$ 이다. 10 kHz에서, 정규화된 광학적 밀도는 대조군보다 높은 것으로 밝혀졌다. 그러나 예상대로, 100 kHz에서는 대조군보다 유의하게 낮았다. 이는 프린지 필드 전극 구조체를 100 kHz로 구동했을 때, 정규화 광학 밀도의 감소가 ~10.06%임을 의미한다. 이것은 본 발명의 전극 구조체의 프린지 필드가 표면에서 박테리아 바이오 필름 성장을 확실히 조절할 수 있다는 것을 의미한다.

[0109] 프린지 필드 접근법에 의한 감소 범위와 주파수에 대한 의존성은 ATP 측정에서 박테리아 세포의 생존 가능성을 나타낸다. 그림 10의 c와 같이 ATP 측정 결과 대조군( $1,975 \pm 577$ )과 10 kHz( $1,918 \pm 368$ )에서 세균 세포 생존력 측면에서 유의미한 차이가 없음을 알 수 있었다. 그러나 100 kHz의 구동 주파수에서 ATP 측정은  $1568 \pm 355$ 로 감소하였다. 따라서, 100 kHz로 구동되는 프린지 필드는 바이오 필름의 박테리아 생존율을 1/5로 줄일 수 있었다.

[0110] 프린지 필드를 사용하는 주요 장점 중 하나는 다른 파라미터(전압 등)를 변경하지 않고 막대 전극 패턴 폭 또는 막대 전극 패턴 사이의 간격을 줄임으로써 표면 근처의 전기장 밀도를 증가시킬 수 있다는 것이다. 즉, 기본 설계를 변경하지 않고도 반응기에서 전극 구조체 주변 영역에서의 프린지 필드 밀도와 범위를 조절할 수 있다. 그림 10의 e와 같이 막대 전극 패턴의 폭을 5에서 2 mm로, 간격은 1.5에서 0.5 mm로 변경함으로써 표면으로부터 0.05 mm에서의 전계 강도가 15.2에서 36.6 V/cm로 증가하였다. 그러나 표면으로부터 2 mm에서는 전계 강도가 4.48 V/cm로 훨씬 낮아졌다.

[0111] 프린지 필드를 사용하는 또 다른 주요 장점은 필드 강도를 유지하면서 다른 표면 윤곽에 적응할 수 있기 때문에 확장성이 높다는 것이다. 기판은 평평한 표면으로 제한될 필요가 없다. 막대 전극 패턴들은, 예를 들어, 상기 반응기 내의 곡면 토폴로지에 적합하도록 형성될 수 있다. 전극 패턴은 폴리이미드, 폴리에스테르와 같은 유연한 소재에 쉽게 스크린 인쇄될 수 있다.

[0113] 본 발명에서는 맞물린 전극 패턴에 의해 생성된 프린지 필드를 사용하여 박테리아 바이오 필름의 성장 감소를 확인했다. 전계 시뮬레이션(10 V의 안전전압 사용) 결과 표면으로부터 0.05 mm 떨어진 곳에서 15.2 V/cm의 최대 전계 강도가 나타날 수 있음을 확인했다. 전극 표면으로부터 1 mm 거리에서의 전계 강도는 12.3 V/cm로 바이오 필름 성장을 방해하기에 충분하였다. 시뮬레이션에서 바이오 필름을 포함함에 따라 상대 유전율 차이로 인해 표면 부근(15.6~28.8 V/cm, 0.05 mm)에서 프린지 필드 밀도가 높아지게 되었다. 이는 동일한 전압에서 바이오 필름 성장을 감소시킬 수 있다는 이점을 나타낸다. 100 kHz( $3.43 \pm 0.26$ )에서 바이오 필름 수확에 대한 광학 밀도는 대조군( $3.81 \pm 0.12$ )보다 유의하게 낮았다. 세균 세포 생존 능력 측면에서, 100 kHz에서 경계장의 효과는 ATP 측정값이  $1,974 \pm 577$ 에서  $1,567 \pm 355$ 로 20.61% 감소했을 때 더욱 뚜렷하게 확인됐다. 프린지 필드의 세기는 막대 전극 패턴의 폭 및 겹을 좁힘으로써 여러 배 더 강화시킬 수 있다. 이는 폐수 처리를 위한 생체 반응기에서 생체막 성장을 조절하기 위해 전기 프린지 필드를 쉽게 사용할 수 있음을 시사한다.

[0115] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자 또는 해당 기술 분야에 통상의 지식을 갖는 자라면, 후술될 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 기술 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

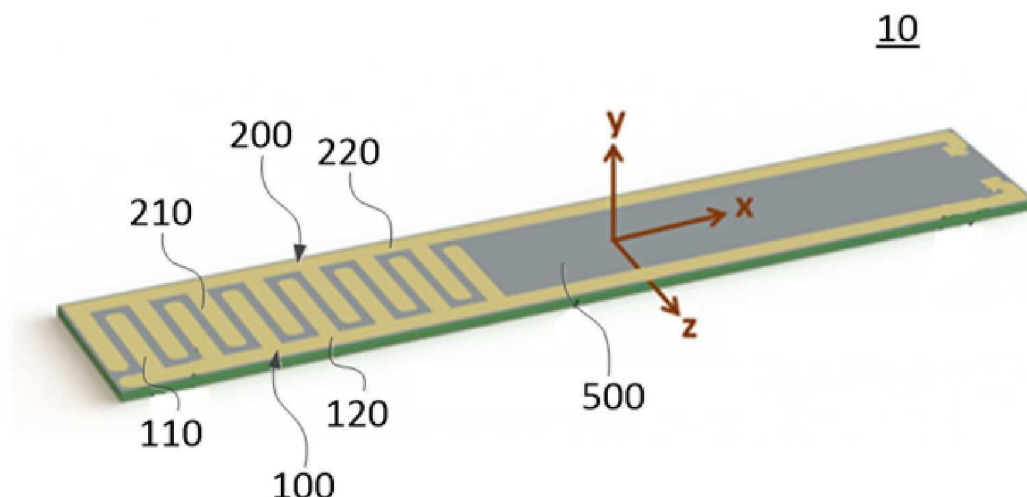
[0116] 따라서, 본 발명의 기술적 범위는 명세서의 상세한 설명에 기재된 내용으로 한정되는 것이 아니라 특허청구범위에 의해 정하여져야만 할 것이다.

### 부호의 설명

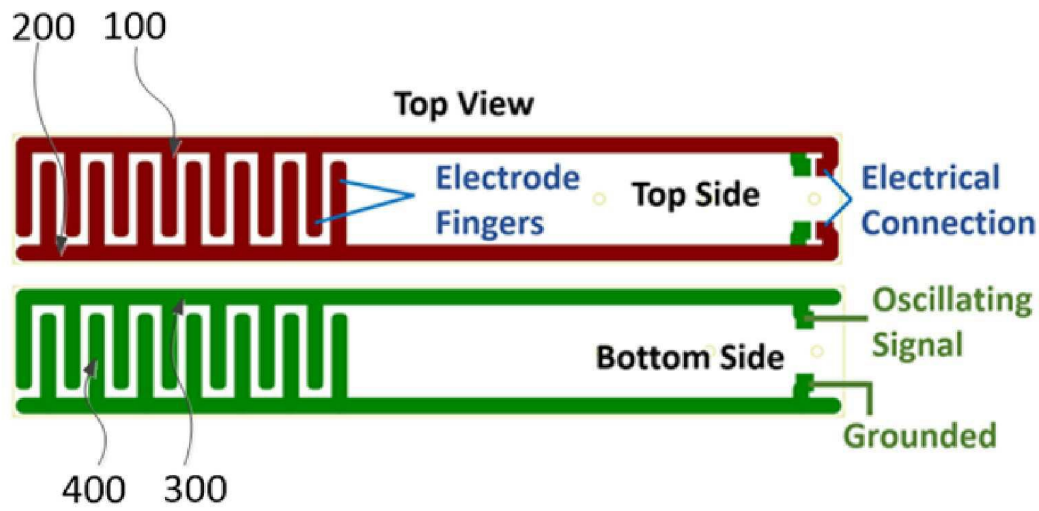
[0117] 10: 전극 구조체 20: 바이오 필름  
100: 제1 전극 패턴 110: 막대 전극 패턴  
200: 제2 전극 패턴 210: 막대 전극 패턴  
500: 기판

### 도면

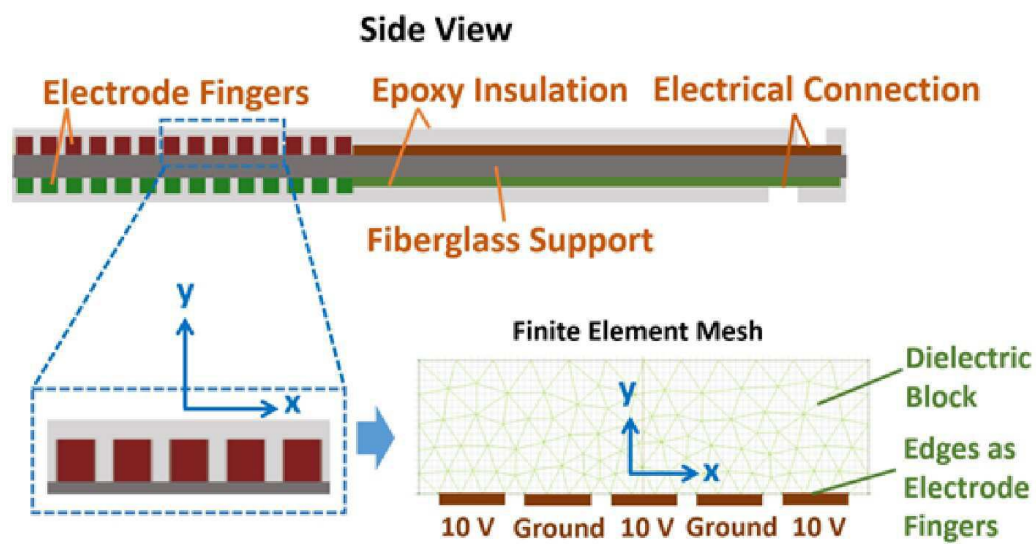
#### 도면1



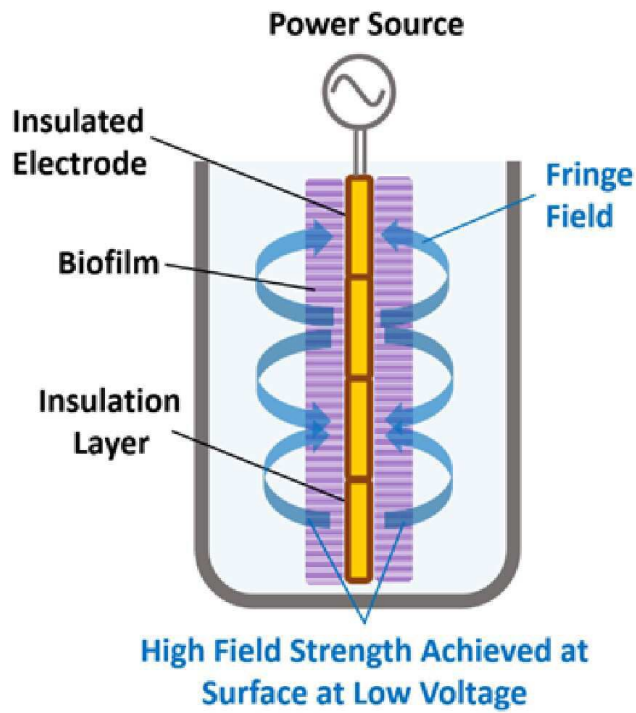
도면2



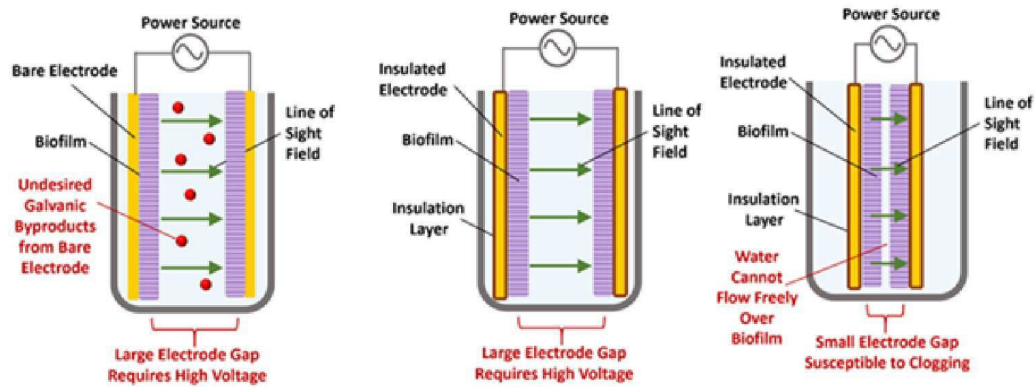
도면3



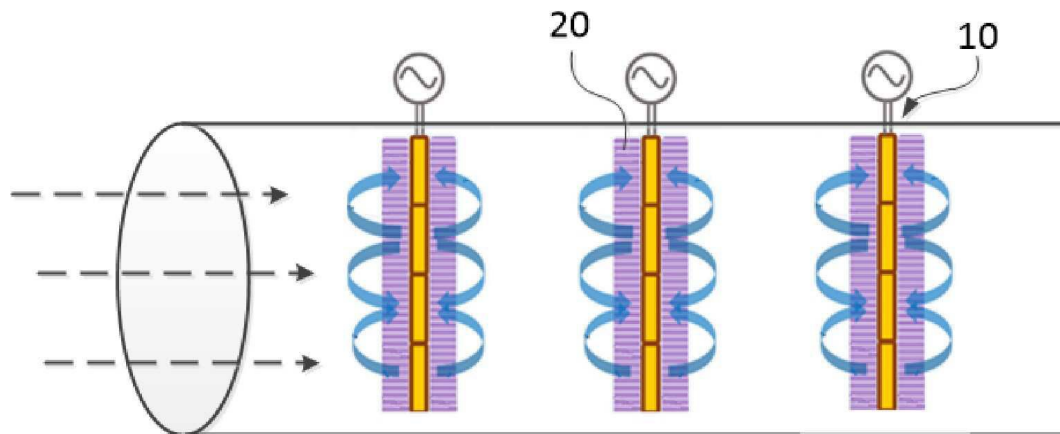
도면4



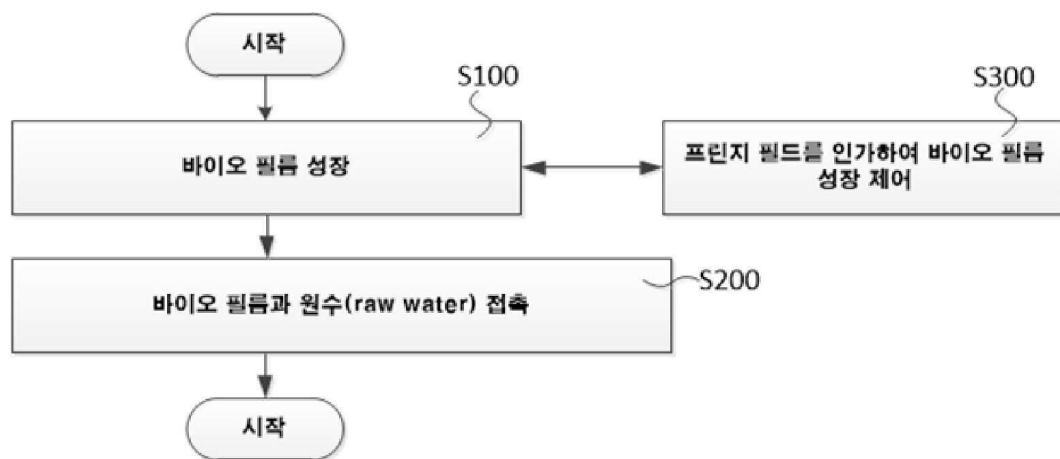
도면5



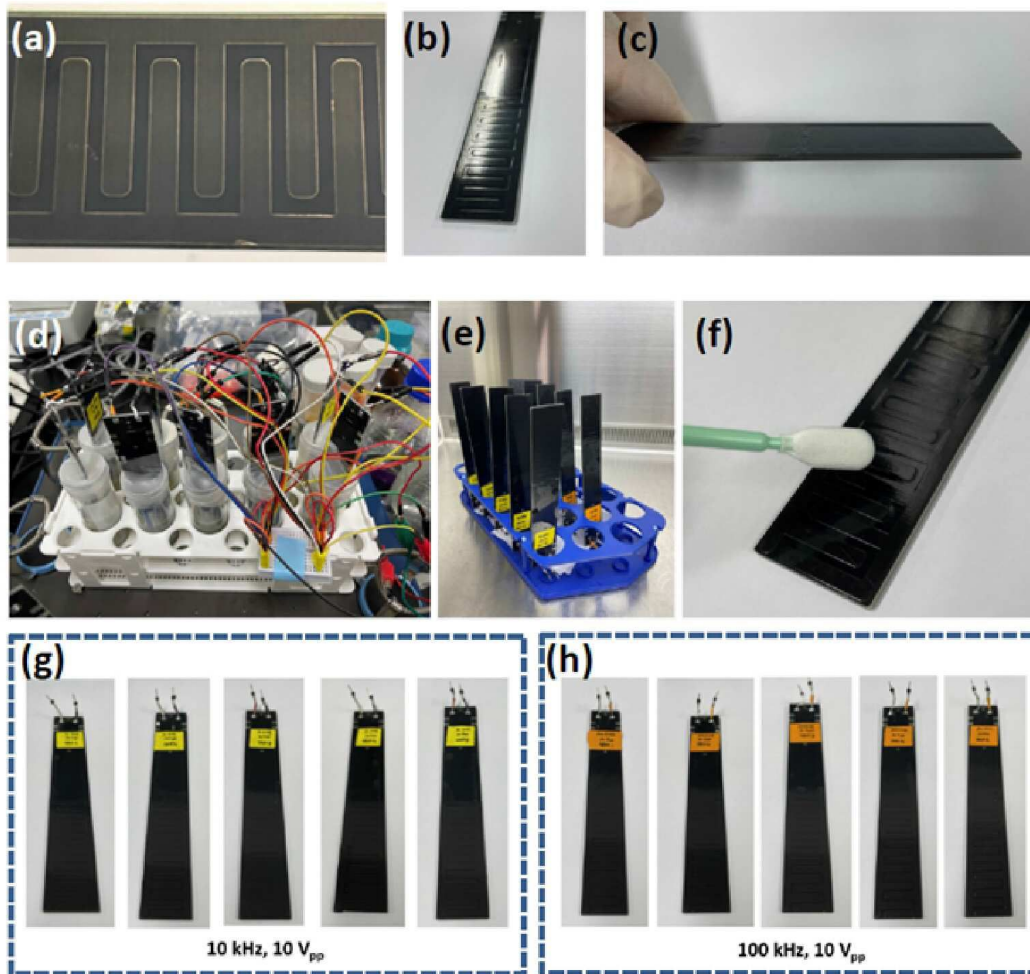
도면6



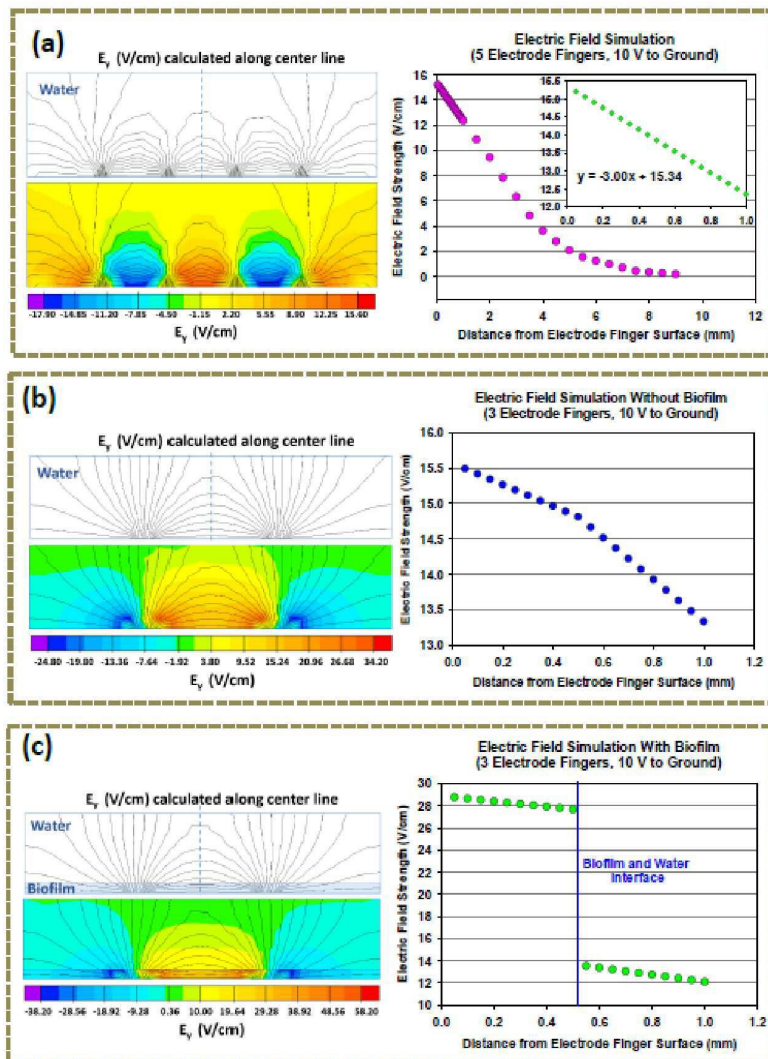
도면7



도면8



도면9



도면10

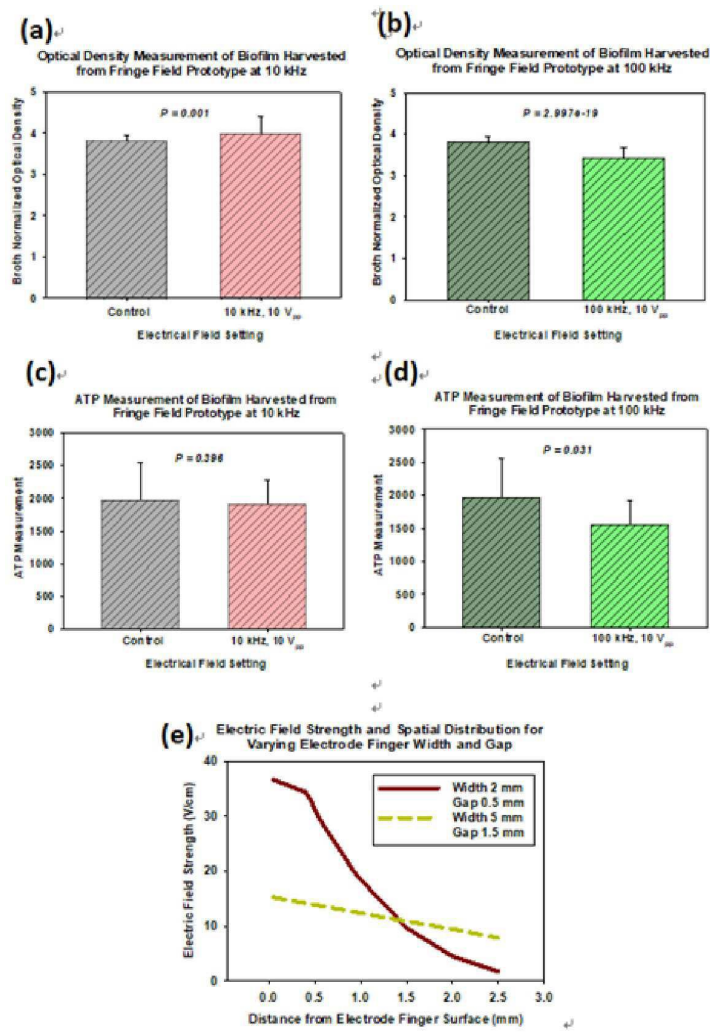


Figure 6e