



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0004819

(43) 공개일자 2015년01월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 5/04 (2006.01) A61B 5/053 (2006.01)

A61N 1/04 (2006.01) A61N 1/08 (2006.01)

A61N 1/36 (2006.01) A61B 19/04 (2006.01)

H05K 7/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7030451

(22) 출원일자(국제) 2013년03월29일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2014년10월29일

(86) 국제출원번호 PCT/US2013/034667

(87) 국제공개번호 WO 2013/149181

국제공개일자 2013년10월03일

(30) 우선권주장

61/618,371 2012년03월30일 미국(US)

(뒷면에 계속)

(71) 출원인

더 보오드 오브 트러스티스 오브 더 유니버시티  
오브 일리노이즈

미국 61801 일리노이 어바나 사우스 라이트 스트  
리트 506 헨리 어드미니스트레이션 빌딩 352

(72) 발명자

로저스, 존 에이.

미국, 일리노이 61822, 샴페인, 2803 밸리브룩

잉, 밍

미국, 일리노이 61801, 얼바나, 1304 더블유. 그  
린 스트리트, 201 메테리얼스 사이언스 앤드 엔지  
니어링 빌딩.

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이원희

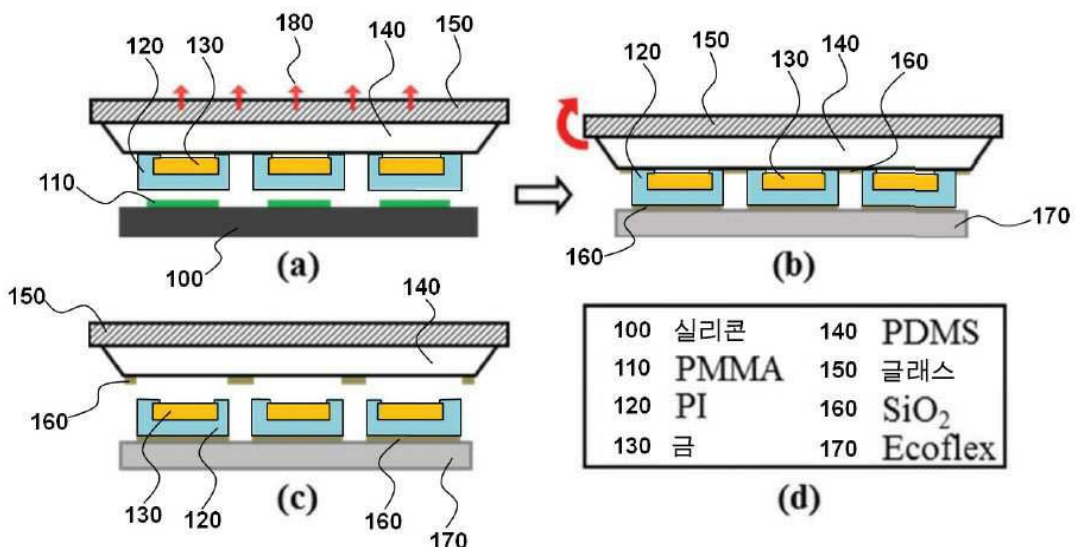
전체 청구항 수 : 총 149 항

(54) 발명의 명칭 표면에 상응하는 부속체 장착가능한 전자 장치

(57) 요약

부속체 표면을 커버하고 이에 진공하는 부속체에 장착가능한 전자 시스템 및 관련 방법이 개시된다. 가요성 또는 신축성 기판은 곡면을 갖는 부속체 및 외부 표면에 접근 가능한 대향 외표면을 포함하는 부속체를 수용하기 위한 내표면을 갖는다. 신축성 또는 가요성 전자장치는 활용 분야에 따라 상기 기판의 내표면 및/또는 외표면에 의해 지지된다. 상기 전자장치는 기판과 결합하여, 봉합부 내에 제공되는 부속체의 표면 및 내표면 사이의 등각접속을 용이하게 하는 순압힘강성을 제공한다. 일측면에서, 상기 시스템은 센서, 액츄에이터, 또는 센서 및 액츄에이터의 어레이를 포함하는 전자장치와 같은 전자장치 기능성에 악영향을 주지 않고 표면 뒤집기가 가능하다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**보니파스, 앤드류**

미국, 일리노이 61801, 엘바나, 1304 더블유. 그린 스트리트, 201 메테리얼스 사이언스 앤드 엔지니어링 빌딩.

**루, 낸슈**

미국, 일리노이 61801, 엘바나, 1304 더블유. 그린 스트리트, 201 메테리얼스 사이언스 앤드 엔지니어링 빌딩.

(30) 우선권주장

61/636,527 2012년04월20일 미국(US)

61/794,004 2013년03월15일 미국(US)

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

내표면 및 외표면을 갖는 가요성 또는 신축성 기관이되, 상기 내표면은 곡면을 갖는 부속체를 수용할 수 있는 봉합부(enclosure)를 한정하는 것을 특징으로 하는 기관; 및

상기 가요성 또는 신축성 기관의 상기 내표면 또는 상기 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자 장치이되, 상기 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고, 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 전자장치를 포함하고;

여기서 상기 가요성 또는 신축성 기관 및 상기 전자장치는 상기 기관의 상기 내표면이 상기 봉합부 내에 제공된 상기 부속체의 표면과 등각 접촉을 성립할 수 있도록 충분히 낮은 순굽힘강성을 갖는 것을 특징으로 하는,

부속체에 장착가능한 전자 시스템.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 부속체는 손, 손가락, 손가락 끝, 두개골, 코, 귀, 치아, 발, 발가락, 다리, 팔, 몸통, 또는 이들 중에 어느 부분인 것을 특징으로 하는 시스템.

### 청구항 3

제 1항에 있어서,

손을 감싸는 기계화된 장갑 또는 손가락 또는 손가락 끝을 감싸는 기계화된 손가락-튜브를 포함하는 시스템.

### 청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 기계화된 장갑은 수술용 의료장갑인 것을 특징으로 하는 시스템.

### 청구항 5

제 1항에 있어서,

인간-기계 인터페이스 시스템을 포함하는 시스템.

### 청구항 6

제 1항에 있어서,

로봇적 작동을 위한 장치를 포함하는 시스템.

### 청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가요성 또는 신축성 기관 및 상기 전자장치는  $1 \times 10^8 \text{ GPa } \mu\text{m}^4$  이하의 시스템의 순굽힘강성을 제공하는 것을 특징으로 하는 시스템.

### 청구항 8

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 장치의 상기 순굽힘강성은 기관의 내표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모

두가 상기 봉합부 내에 제공된 상기 부속체의 상기 표면과 등각접촉을 성립할 수 있을 정도로 충분히 낮은 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 9

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가요성 또는 신축성 기관 및 상기 전자장치는  $1 \times 10^{-4}$  Nm 이하의 상기 시스템의 순굴곡강성을 제공하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 10

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관은 가요성 기관이고 상기 전자장치는 가요성 전자장치인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 11

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관은 신축성 기관이고 상기 전자장치는 신축성 전자장치인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 12

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시스템은 중성역학층(neutral mechanical plane)인 것을 특징으로 하고, 하나 이상의 무기 반도체 소자 또는 하나 이상의 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분이 중성역학층에 인접하게 위치하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 13

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자장치는 2 내지 1000 개의 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 14

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자 장치는 적어도 3개 이상의 상이한 종류의 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 15

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두가 개방형 메쉬(open mesh) 형태로 제공되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 16

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두가  $0.5 \text{ cm}^2$  내지  $100 \text{ cm}^2$  범위에서 선택된 족적 표면적(footprint surface area)를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 17

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자장치는 전극, 촉각 센서, 변형 게이지(strain gauge), 커패시턴스 센서, 온도 센서, 압력 센서, 동작 센서, 위치 센서, 변위 센서, 가속도 센서, 힘 센서, 화학 센서, pH 센서, 커패시티브 센서, 광 센서, 광 검출기, 촬상 시스템 및 이들의 임의의 어레이 및 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 센서를 포함하는

것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 18

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자 소자는 전기촉각 자극기, 전극, 열원, 압전 소자, 음향 소자, RF 에너지원, 자기 액츄에이터, 전자기 방사원, 레이저, 발광 다이오드와 어레이 및 이들의 임의의 어레이 및 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 액츄에이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 19

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분이 상기 가요성 또는 신축성 기관의 내표면에 의해 지지되고, 상기 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분이 상기 가요성 또는 신축성 기관의 외표면에 의해 지지되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 20

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가요성 또는 신축성 전자장치는 봉합부 내에 있는 상기 부속체를 전기적으로 자극하기 위해 어레이로 제공되고 상기 기관의 상기 내표면에 의해 지지되는 복수의 상기 전기촉각 자극기를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 21

제20 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 전자장치가 상기 전기촉각 자극기의 다중화된 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 22

제20항에 있어서, 상기 어레이의 상기 전기촉각 자극기들은 구부러진 (serpentine)전기적 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호접속된 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 23

제20항에 있어서,

상기 전기촉각 자극기 각각은 내부 영역이 외부 영역에 의해 둘러 싸여 있는 박막 금속 구조를 포함하고, 상기 내부 영역과 상기 외부 영역 사이의 간격이 제공되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 24

제23항에 있어서,

상기 내부 영역은 10m 내지 1000m 범위로부터 선택되는 측면치수를 갖고, 상기 외부영역은 10m 내지 5000m 범위로부터 선택되는 측면치수를 갖고, 여기서 상기 간격은 10m 내지 1000m 범위로부터 선택되는 측면치수를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 25

제23항에 있어서, 상기 내부 영역 각각은 전도성 디스크형태 전극이고, 상기 외부 영역은 상기 디스크형태 전극에 동심원 형태로 위치하는 전도성의 고리-형태 전극인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 26

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전자장치는 어레이로 제공되고 상기 기관의 외표면, 내표면, 또는 외표면 및 내표면에 의해 지지되는 복수의 촉각 센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 27

제26항에 있어서, 상기 전자장치는 상기 촉각 센서의 다중화된 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 28

제26항에 있어서, 상기 어레이의 상기 촉각 센서는 구부러진 전기적 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호 접속된 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 29

제26항에 있어서, 상기 촉각 센서 각각은 100m 내지 5000m 범위로부터 선택되는 측면치수를 갖는 박막 금속 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 30

제29항에 있어서, 상기 촉각 센서의 상기 박막 금속 구조는 전도성 디스크-형태 전극인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 31

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전자장치는 상기 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 촉각 센서 및 상기 내표면에 의해 지지되는 하나 이상의 전기촉각 자극기를 포함하고, 여기서 상기 하나 이상의 촉각 센서의 출력값에 비례하여 상기 부속체를 전기적으로 자극하기 위해 상기 하나 이상의 촉각 센서의 출력값이 상기 하나 이상의 전기촉각 자극기에 제공되는 것으로 상기 하나 이상의 촉각 센서는 상기 하나 이상의 전기촉각 자극기와 전기적 소통이 가능한 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 32

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자장치는 복수의 전극을 포함하고, 전극 각각은:

1mm 이하의 직경을 갖는 내측 디스크; 및

상기 내측 디스크를 둘러싸는 외측 링을 포함하고,

여기서 상기 내측 디스크 및 외측 링은 상호 동심원을 중심으로 배치되며, 상기 내측 디스크와 외측 링 사이의 이격 거리는 100  $\mu\text{m}$  이상 및 500  $\mu\text{m}$  이하의 범위에서 선택되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 33

제33항에 있어서, 상기 내표면, 상기 외표면, 또는 두 가지 모두에 의해 지지되는 하나 이상의 추가적인 전자소자를 더 포함하고; 상기 추가적인 전자소자는 센서, 액추에이터, 전원 공급원, 무선 전원 공급원, 광전지 장치, 무선 트랜스미터, 안테나, 나노일렉트로메카니컬 시스템, 마이크로일렉트로메카니컬 시스템 및 어레이 및 이들의 임의의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 시스템.

#### 청구항 34

제33항에 있어서, 상기 하나 이상의 추가적 전자소자들은 변형 게이지를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 35

제34항에 있어서, 상기 변형 게이지는 하나 이상의 반도체 나노멤브레인들을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 36

제 35항에 있어서, 상기 반도체 나노멤브레인 각각은 각기 독립적으로 1 m 내지 10 mm 범위에서 선택된 측면치수 및 100 nm 내지 100 m 범위에서 선택된 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 37

제 35항에 있어서, 상기 변형 게이지는 적어도 3개 이상의 복수의 전기적으로 연결된 반도체 나노멤브레인을 포

합하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 38

제35항에 있어서, 상기 반도체 나노멤브레인은 구부러진 모양의 전기 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호접속되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 39

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,  
하나 이상의 무기 반도체 소자를 포함하는 시스템.

#### 청구항 40

제39항에 있어서, 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은 독립적으로 다결정 반도체 물질, 단결정 반도체 물질, 또는 도핑된 다결정 또는 단결정 반도체 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 41

제39항에 있어서, 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은 독립적으로 단결정 반도체 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 42

제39항에 있어서, 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은 독립적으로 100  $\mu\text{m}$  이하의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 43

제39항에 있어서, 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은 50 나노미터 내지 100 마이크로미터 범위에서 선택되는 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

#### 청구항 44

제39항에 있어서, 상기 전자장치의 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은  $1 \times 10^{-4} \text{ Nm}$  이하의 순굴곡강성을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

#### 청구항 45

제39항에 있어서, 상기 전자장치의 상기 무기 반도체 소자들 중에 각 하나는 0.5 MPa 내지 10 GPa 범위에서 선택되는 영률(Young's modulus)을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

#### 청구항 46

제39항에 있어서, 상기 전자장치의 상기 무기 반도체 소자들 중에 각 하나는  $1 \times 10^8 \text{ GPa} \mu\text{m}^4$  이하의 순굽힘강성을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

#### 청구항 47

제39항에 있어서, 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자들 중에 각 하나는 반도체 나노멤브레인 구조를 독립적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 48

제47항에 있어서, 상기 반도체 나노멤브레인 구조는 다이오드 전자소자인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 49

제 1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 금속 소자를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 50

제49항에 있어서, 상기 하나 이상의 금속 컨덕터 소자는 어레이 안에 복수의 전극들을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 51

제50항에 있어서, 상기 어레이 안의 상기 전극들 각각은 독립적으로 100m 이하의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 52

제50항에 있어서, 상기 전극 어레이는 10 내지 10,000 개의 범위에서 선택되는 전극의 수를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 53

제50항에 있어서, 상기 어레이의 상기 전극들은 구부러진 전기적 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호접속되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 54

제49항에 있어서, 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 전자장치 모두가 복수의 전극, 멀티플렉스 회로망, 증폭 회로망을 포함하는 신축성 또는 가요성 전극 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 55

제54항에 있어서, 상기 신축성 또는 가요성 전극 어레이는 복수의 전극 유닛 셀들을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 56

제55항에 있어서, 상기 신축성 또는 가요성 전극 어레이는 50 개 이상의 전극 유닛 셀들을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 57

제55항에 있어서, 상기 전극 어레이의 인접 전극 유닛 셀들은 상호 간에 50m 이하의 간격으로 분리되어 있는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 58

제55항에 있어서, 상기 전극 어레이의 상기 전극 유닛 셀들은  $10 \text{ mm}^2$  내지  $10,000 \text{ mm}^2$  범위의 가요성 또는 신축성 기판 영역에 의해 지지되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 59

제55항에 있어서, 상기 전극 어레이의 상기 전극 유닛 셀들은 콘택트패드, 증폭기 및 멀티플렉서를 포함하고, 여기서 상기 콘택트패드는 조직에 전기적 인터페이스를 제공하고 상기 증폭기 및 멀티플렉서와 전기적 소통이 가능한 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 60

제59항에 있어서, 상기 유닛 셀의 상기 증폭기 및 멀티플렉서는 복수의 트랜지스터들을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 61

제49항에 있어서, 상기 하나 이상의 금속 컨덕터 소자는 복수의 신축성 전기적 접속부를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.



#### 청구항 62

제61항에 있어서, 상기 신축성 전기적 접속부는 적어도 부분적으로는 자립형이거나 또는 묶인 형태로 제공되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 63

제61항에 있어서, 상기 신축성 전기적 접속부는 곡선 형태인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 64

제61항에 있어서, 상기 신축성 전기적 접속부는 구부러진 형태인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 65

제61항에 있어서, 상기 신축성 전기적 접속부는 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자들, 하나 이상의 금속 소자들, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자들 및 하나 이상의 금속 소자들의 적어도 일부분을 포함하는 고정장치 아일랜드를 전기적으로 연결하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 66

제65항에 있어서, 상기 고정장치 아일랜드의 적어도 일부는 각각 독립적으로 단결정 무기 반도체 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 67

제65항에 있어서, 상기 고정장치 아일랜드의 적어도 일부는 각각 독립적으로 단결정 무기 반도체 나노멤브레인을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 68

제65항에 있어서, 상기 고정장치 아일랜드는 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 69

제68항에 있어서, 상기 센서 또는 액츄에이터는 전극, 촉각 센서, 변형 게이지, 커패시턴스 센서, 온도 센서, 압력 센서, 동작 센서, 위치 센서, 변위 센서, 가속도 센서, 힘 센서, 화학 센서, pH 센서, 커패시티브 센서, 광 센서, 광 검출기, 환상 시스템, 전기촉각 자극기, 전극, 열원, 압전 소자, 음향 소자, RF 에너지원, 자기 액츄에이터, 전자기 방사원, 레이저, 발광 다이오드와 어레이 및 이들의 임의의 어레이 및 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 70

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치의 적어도 일부분은 상기 가요성 또는 신축성 기관의 외표면에 의해 지지되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 71

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치의 적어도 일부분은 상기 가요성 또는 신축성 기관의 내표면에 의해 지지되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 72

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 내표면 및 외표면은 상기 가요성 또는 신축성 기관의 내표면 또는 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두의 기능성 파라미터를 실질적으로 감소시키지 않으며 상호적으로 뒤집을 수 있는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 73

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 내표면 및 외표면은 상기 가요성 또는 신축성 기관의 내표면

또는 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두의 기능성 파라미터를 실질적으로 감소시키지 않으며 상호적으로 뒤집을 수 있는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 74

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전자 장치를 지지하는 외표면이 뒤집어진 후에 외표면에 의해 지지되는 기능적 전자 장치가 내표면에 의해 지지되는 기능적 전자장치가 되도록 하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 75

제74항에 있어서, 기능적 전자 장치는 전기촉각 자극기들의 어레이이고, 외표면이 내표면으로 뒤집힌 이후에도 상기 전기촉각 자극기들의 적어도 90%가 기능성 있는 것으로 남아있는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 76

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 폐쇄된 튜브 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 77

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는 5 mm 내지 1000 cm 범위에서 선택된 횡단면 치수를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 78

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 탄성중합체 기관인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 79

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 폴리머, 무기 폴리머, 유기 폴리머, 플라스틱, 탄성중합체, 바이오 폴리머, 열경화성수지, 고무, 또는 이들의 임의의 조합인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 80

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 PDMS, 파릴렌, 폴리이미드, 또는 Ecoflex<sup>®</sup> 인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 81

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 생체 적합성 재료 또는 생체 불활성 물질 인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 82

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 0.25  $\mu\text{m}$  내지 10,000  $\mu\text{m}$  범위에서 선택된 평균 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 83

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 전자 장치를 지지하는 실질적으로 균일한 두께를 갖거나 또는 전자장치를 지지하는 두께가 하나 이상의 측면치수에 따라 선택적으로 달라지는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 84

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 가요성 또는 신축성 메쉬 구조인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 85

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 0.5 KPa 내지 10 GPa 범위에서 선택된 평균 영률을 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 86

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 500% 이상의 파단변형률 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 87

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기능 장치의 적어도 일부분을 캡슐화하는 장벽층을 더 포함하는 시스템.

#### 청구항 88

제87항에 있어서, 상기 장벽층은 상기 시스템과 접촉해 있는 물질에 악영향을 주지 않는 수준으로 전자장치로부터의 순누설전류(net leakage current)를 제한하거나, 또는 상기 시스템과 접촉해 있는 물질에 악영향을 주지 않는 수준으로 전자장치로부터의 열전달을 제한하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 89

제87항에 있어서, 상기 장벽층은 상기 전자장치의 적어도 일부로 외부 액체가 통과하는 것을 실질적으로 방지하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 90

제87항에 있어서, 상기 장벽층은 폴리머, 무기 폴리머, 유기 폴리머, 플라스틱, 탄성중합체, 바이오 폴리머, 열경화성수지, 고무, 또는 이들의 임의의 조합인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 91

제87항에 있어서, 상기 장벽층은 PDMS, 파릴렌, 폴리이미드, 또는 Ecoflex<sup>®</sup>인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 92

제87항에 있어서, 상기 장벽층은 1  $\mu$ m 내지 100  $\mu$ m 범위에서 선택된 평균 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 93

제87항에 있어서, 상기 장벽층은 0.5 KPa 내지 10 GPa 범위에서 선택된 평균 영률을 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 94

제87항에 있어서, 상기 장벽층과 상기 가요성 또는 신축성 기관은 평균 두께를 갖고, 여기서 상기 가요성 또는 신축성 기관에 대한 상기 장벽층의 평균 두께 비율은 0.01 내지 1의 범위에서 선택되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 95

제87 항에 있어서, 상기 장벽층은 메쉬 구조인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 96

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분을 전기적으로 연결하는 하나 이상의 신축성 접속부를 더 포함하는 시스템.

#### 청구항 97

제96항에 있어서, 하나 이상의 신축성 접속부는 굽은 형태로 제공되는 전기적 전도성 금속을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 98

제96항에 있어서, 하나 이상의 신축성 접속부는 구부러진 형태로 제공되는 나노와이어(nanowire)를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 99

제98항에 있어서, 상기 나노와이어는 직사각형 단면을 갖고, 50 nm 내지 1  $\mu$ m 범위에서 선택되는 두께 및 10  $\mu$ m 내지 1 mm 범위에서 선택되는 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 100

제98항에 있어서, 상기 구부러진 구조는 100  $\mu$ m 내지 10 mm 범위에서 선택된 평균 곡률 반경 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 101

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 간편한 상부 연결 배선을 제공하기 위해 인접 접속부 층은 전기적 절연 탄성중합체층인 장벽층으로 분리된 인접 접속부 층과 함께, 적어도 두 개 이상의 접속부 층에 배치된 복수의 접속부를 포함하는 시스템.

#### 청구항 102

제101항에 있어서, 상기 전자장치는 적어도 하나 이상의 접속부에 전기적으로 연결된 고정장치 아일랜드를 포함하고, 상기 접속부의 굽은 구조는 박막형의 가요성 또는 신축성 기관의 구부림 및 신축성으로부터의 압박을 수용하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 103

제102항에 있어서, 상기 구부림 및 신축성 압박은 가요성 또는 신축성 기관의 내표면 및 외표면을 뒤집는 것으로 기인하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 104

제 1항에 있어서, 상기 시스템은 중성역학층(NMP)을 포함하고, 상기 중성역학층은 변형 민감성 소자의 깊이에 해당하는 깊이에 위치하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 105

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 무기 반도체 소자들, 하나 이상의 금속 소자, 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분이 인쇄가능한 구조인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 106

제105항에 있어서, 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분이 전사(transfer) 인쇄를 통해 상기 가요성 또는 신축성 기관에 조립되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 107

제105항에 있어서, 상기 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두의 적어도 일부가 마이크로 전사 인쇄, 점접 전사 인쇄, 용액 기반 인쇄, 소프트 리소그래피 인쇄, 복사 조형(replica molding), 또는 임프린트 리소그래피를 통해 상기 가요성 또는 신축성 기관에 조립되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 108

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는 부속체를 수용하고 덮기 위해 내부공간 및 적어도 하

나 이상의 개구부를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 109

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는  $1\text{ cm}^3$  이상이고  $10,000\text{ cm}^3$  이하인 내부 부피를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 110

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는 실질적으로 원통형 또는 반구형인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 111

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는 손, 손가락, 손가락 끝, 또는 이들의 임의의 부분을 수용하는 형태인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 112

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는 상기 부속체를 수용하기 위해 하나 또는 두 개의 개구부를 갖는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 113

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 세로-방향 힘의 영향 하에 상기 부속체를 감싸는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 114

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관은 가로-방향 힘의 영향 하에 상기 부속체를 감싸는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 115

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 부속체는 생물의 일부인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 116

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 전자장치는 내표면에 의해 지지되고, 제2 전자장치는 제2 표면에 의해 지지되고, 여기서 상기 제1 및 제2 전자장치들은 공간을 두고 정렬되며 상호간에 소통이 되고, 여기서 상기 소통은 상기 제1 및 제2 전자장치들 사이의 기관 두께에 따라 달라지는 파라미터에 의해 특징지어 지고, 그에 따라 압력 센서를 형성하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 117

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 봉합부는 상기 부속체의 상응하는 치수에 비해 더 작은 수용 치수를 갖고, 사용 중에는 상기 가요성 또는 신축성 기관의 변형이 증가하여 상기 수용 치수가 가요성 또는 신축성 전자장치에 악영향을 주지 않고 봉합부 내에 부속체를 수용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 118

제117항에 있어서, 내표면 기관에 의해 지지되는 가요성 또는 신축성 전자장치와 부속체의 곡선형 표면 사이에 밀접하고 등각접촉을 형성 및 유지하기 위해 상기 변형은 상기 가요성 또는 신축성 기관과 봉합부 내의 부속체 사이에 접촉력을 발생시키는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 119

제 118항에 있어서, 상기 변형은 1% 이상과 100% 이하의 범위에서 선택되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 120

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전자장치는 약  $1\text{ mm}^{-2}$  내지  $1\text{ cm}^{-2}$  사이의 범위에서 선택된 공간밀도(spatial density)를 갖는 상기 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 121

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시스템은 다기능적이고, 여기서 상기 내표면은 액츄에이터의 제1 어레이를 지지하고, 상기 외표면은 센서의 제2 어레이를 지지하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 122

제121항에 있어서, 상기 제1 어레이는 상기 제1 어레이의 전자장치들과 등각접촉에 있는 생물 피부와 인터페이스하기 위한 전기촉각 자극기들을 포함하고, 상기 제2 어레이는 외표면과 촉각 상호작용에서의 물리적 파라미터들을 측정하기 위한 촉각센서들을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 123

제121항에 있어서, 상기 촉각센서는 전극들 사이의 커패시턴스를 측정하기 위한 내표면과 외표면 상에 대향 전극들을 포함하고, 상기 커패시턴스는 상기 대향 전극들 사이의 가요성 또는 신축성 기관의 두께에 따라 달라지는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 124

제 121 항에 있어서, 상기 제1 및 제2 어레이들이 상호 전기적 소통이 가능한 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 125

제 124 항에 있어서, 센서의 상기 제2 어레이는 액츄에이터의 상기 제1 어레이에 입력값이 되는 전기적 출력값을 생성하고, 외표면에 대한 정보를 사용자에게 제공하기 위해 액츄에이터의 상기 제1 어레이는 사용자의 피부인 부속체 표면과 상호작용하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 126

기본 봉합부를 한정하는 초기 내부를 향하는 표면 및 초기 외부를 향하는 표면을 갖는 가요성 또는 신축성 기관을 제공하는 단계;

하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자장치를 상기 가요성 또는 신축성 기관의 상기 초기 외부를 향하는 표면에 전자 인쇄하되, 상기 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고; 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는 단계; 및

뒤집기로 상기 초기 외부를 향하는 표면이 후속 내부를 향하는 표면이 되어 부속체를 수용하기 위한 최종 봉합부를 한정하고, 상기 초기 내부를 향하는 표면은 후속 외부를 향하는 표면이 되어서 상기 전자 장치를 상기 후속 내부를 향하는 표면에 제공하는 상기 가요성 또는 신축성 기관을 뒤집는 단계;를 포함하되,

여기서 상기 가요성 또는 신축성 기관을 뒤집는 상기 단계 이후에 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치는 기능이 유지되는 것을 특징으로 하는

부속체에 장착가능한 전자시스템 제조 방법.

#### 청구항 127

상기 부속체는 손, 손가락, 손가락 끝, 두개골, 치아, 발, 발가락, 코, 귀, 다리, 팔, 몸통, 또는 그 중에 어느 부분인 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 128

제126항에 있어서, 상기 가요성 또는 신축성 기관을 제공하는 단계는:

상기 부속체 또는 그 몰드의 표면에 탄성중합체 전구체를 주조하는 단계; 및

상기 부속체 형태에 대응하는 봉합부 형태를 갖는 가요성 또는 신축성 기관을 획득하기 위해 상기 탄성중합체 전구체를 경화하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 129

제126항 내지 제128항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전사 인쇄 단계는 마이크로 전사 인쇄, 점점 전사 인쇄, 용액 기반 인쇄, 소프트 리소그래피 인쇄, 복사 조형, 또는 임프린트 리소그래피로 이루어진 군에서 선택된 기술을 통해 액츄에이터, 센서 또는 액츄에이터 및 센서의 어레이를 전사하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 130

제126항 내지 제 128항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전사 인쇄 단계는 액츄에이터, 센서, 또는 액츄에이터 및 센서의 어레이를 탄성중합체 전사 스탬프로부터 상기 신축성 기관의 초기 외표면에 전사하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 131

제130항에 있어서, 상기 전사 인쇄 단계는 평면 형태로 상기 탄성중합체 기관을 평면화하는 단계 및 액츄에이터, 센서, 또는 액츄에이터 및 센서의 어레이를 평면 형태로 상기 신축성 기관에 전사하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 132

제130항에 있어서, 상기 전사 인쇄 단계는 상기 탄성중합체 전사 스탬프를 곡선형으로 상기 신축성 기관의 외표면에 굴리는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 133

제126항 내지 제 128항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 최종 봉합부는 손가락 또는 손가락 끝 표면 형태에 상응하는 내표면 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 134

제126항 내지 제128항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시스템은 장갑의 손가락 또는 손가락 끝에 결합되는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 135

제126항에 있어서, 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 상기 가요성 또는 신축성 기관의 후속 외표면으로 전사하여, 제1 센서 또는 액츄에이터 또는 두 가지 모두를 후속 내표면에 제공하고 제2 센서 또는 액츄에이터 또는 두 가지 모두를 후속 외표면에 제공하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 136

제135항에 있어서, 상기 제1 센서 또는 액츄에이터 또는 두 가지 모두가 전기촉각 자극기의 어레이를 포함하고, 상기 센서 또는 액츄에이터 또는 두 가지 모두가 촉각 센서들의 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 137

제136항에 있어서, 상기 촉각 센서들을 상기 전기촉각 센서들과 소통가능하게 연결하여 상기 전기촉각 센서들이 상기 촉각 센서들로부터의 출력값에 의해 제어되는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 138

제137항에 있어서, 전기촉각 센서의 어레이는 전기적 자극의 공간적 변화 패턴을 생성하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 139

내표면 및 외표면을 갖는 탄성중합체 기관이되, 여기서 상기 내표면은 곡면을 갖는 부속체를 수용할 수 있는 봉합부를 한정하고, 상기 탄성중합체 기관은 10mm이하의 기본 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 탄성중합체 기관;

상기 내표면에 의해 지지되는 제1 전자장치;

상기 외표면에 의해 지지되는 제2 전자장치이되, 여기서 상기 제1 및 제2 전자장치는 상호 대향되는 형태를 갖고 탄성중합체 기관 두께의 함수에 따라 달라지는 출력값을 갖는 압력 센서를 형성하기 위해 상기 탄성중합체 기관의 두께만큼 분리가 되는 제2 전자장치; 를 포함하고,

상기 제1 및 제2 전자장치들 각각은 두께가 1mm이하이고 측면치수가 5mm이하인 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 갖는 것을 특징으로 하는

부속체에 장착가능한 전자시스템.

#### 청구항 140

제139항에 있어서, 상기 압력 센서는 내표면에 의해 지지되는 제1 전극 및 외표면에 의해 지지되는 제2 전극으로서 공간적으로 정렬된 한 쌍의 전극을 포함하는 커패시터고, 상기 한 쌍의 전극은 상호 전기적으로 소통가능하며 상기 한 쌍의 전극 사이의 커패시턴스는 탄성중합체 기관에 따라 변화하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 141

제140항에 있어서, 제1 전극 어레이 및 제2 전극 어레이를 포함하고, 여기서 상기 제1 전극 어레이 및 상기 제2 전극 어레이는 커패시터 어레이를 형성하기 위해 각기 공간적으로 정렬되어 있고, 각 커패시터는 상기 탄성중합체의 두께로 분리된 한 쌍의 전극들을 갖고, 각 커패시터의 어레이의 개별 구성은 커패시터의 어레이의 개별 구성의 전극들 사이의 탄성중합체 두께의 함수에 따라 독립적으로 변화하는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 142

제141항에 있어서, 제1 전극들의 어레이의 각 멤버를 전기적으로 연결하는 제1 복수의 전기 접속부 및 제2 전극들의 어레이의 각 멤버를 전기적으로 연결하는 제2 복수의 전기적 접속부를 포함하고, 여기서 상기 전기적 접속부는 구부러진 형태인 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 143

제142항에 있어서, 상기 제1 복수의 전기적 접속부는 상기 탄성중합체 기관 내표면에 의해 지지되는 제1 캡슐화층에 의해 캡슐화되고, 상기 제2 복수의 전기적 접속부는 상기 탄성중합체 기관 외표면에 의해 지지되는 제2 캡슐화층에 의해 캡슐화되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 144

제142항에 있어서, 상기 복수의 제1 전기적 접속부를 상기 복수의 제2 전기적 접속부로부터 전기적으로 분리하는 장벽층을 더 포함하는 시스템.

#### 청구항 145

제140항에 있어서, 상기 탄성중합체 기관에 인가된 압력은 한 쌍의 전극 사이의 기관 두께를 감소시켜 커패시턴스를 증가시키는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 146

제139항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전자 장치는 상호 열 교환이 가능하고, 여기서 상기 전자장치들 중의 하나는 열공급원이고, 상기 전자 장치는 온도를 측정하는 열감지기이고, 상기 열공급원과 상기 열감지기 사이의 탄성중합체 두께의 변화는 상기 열감지기에 의해 측정된 온도를 변화시키는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 147



부속체 또는 그 몰드를 제공하는 단계;

하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자장치를 상기 부속체 또는 그 몰드의 표면에 제공하되, 상기 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고, 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는 단계;

상기 부속체 또는 그 몰드의 표면에 의해 지지되는 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치에 프리폴리머(prepolymer)를 도입하는 단계; 및

상기 가요성 또는 신축성 전자 장치를 지지하는 내표면을 갖는 가요성 또는 신축성 기판을 형성하기 위해 상기 프리폴리머를 중합하는 단계를 포함하는

부속체에 장착가능한 전자시스템 제조 방법.

#### 청구항 148

제147항에 있어서, 부속체 또는 그 몰드의 표면으로부터 상기 기판 및 가요성 또는 신축성 전자 장치를 제거하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 149

제147항 또는 제148항에 있어서, 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자장치를 상기 가요성 또는 신축성 기판의 외표면에 전사 인쇄하는 단계를 더 포함하고, 상기 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고, 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분은 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

### 명세서

#### 기술분야

[0001] 본 출원은 2013년 12월 3일 15일, 2012년 4월 15일 및 2012년 3월 20일에 각각 출원된 미국 임시 특허 출원 제 61/794,004호, 제 61/636,527호 및 제 61/618,371호에 대해 일차하는 범위를 참조함으로써 권리를 주장한다.

[0002] 본 발명은 국립과학재단(National Science Foundation)이 수여하고, CMMI-0328162하에서 정부 지원으로 이루어졌고, 미국 에너지부가 수여한 DE-FG02-07ER46471 및 DE-FG02-07ER46453하에서 정부 지원으로 이루어졌다. 미국 정부는 본 발명에 특정 권리를 갖는다.

#### 배경기술

[0003] 피부에 대한 인터페이스를 이용하는 생리학적 측정 및 자극 기술은 오랜 시간 동안 관심을 받아 왔다. 현재까지의 많은 진전에도 불구하고, 거의 모든 관련 장치 기술들은 개념적으로 종래 설계에 계속 의존해 왔다. 일반적으로, 소수의 벌크 전극들이 접착 테이프, 기계적 클램프 / 스트랩 및/또는 관통 바늘들을 통해 피부상에 장착되고, 리즈드(rigid) 회로 기판, 전력 공급원 및 통신 소자의 모음을 담는 별도의 박스들에 말단 연결이 되어 종종 전도성 겔로 조정된다(mediate). 상기 시스템들은 많은 중요한 기능을 가지고 있지만, 피부를 자극하지 않는 긴 수명, 견고한 전기적 접촉을 확립하고, 장시간 사용시 불편함을 일으키지 않는 전체적인 크기, 무게, 모양을 갖는 통합 시스템을 만드는데 있어서의 어려움으로 인해, 실험실 또는 임상적 설정 이외의 실용적 활용에 부족함이 있다.

[0004] 최근, 많은 논문들 및 특허문헌들은 유연하고, 탄력 있으며, 이식 가능한(implantable) 전극 어레이들을 개시하고 있다. 일례로, 미국 공개 특허US 2007/0043416는 표적 조직과 접촉하는 복수의 전극을 갖는 이식 가능한 가

요성 탄성 지지체(support)를 개시한다. 이와 유사하게, 국제특허출원공고 WO 98/49936는 심장 조직을 (매핑하고) 제거하는 감지신호를 위한 탄력 전극 어레이(array)를 개시한다. 미국 특허 5,678,737은 전위 분포 데이터의 동적 디스플레이로 심장 외막 및 심장 내막 표면의 삼차원 모델을 디스플레이하는 전기 생리학 매핑 시스템을 개시한다.

[0005] 미국 공개 특허 US 2003/0149456는 종래의 단일 유도 심장 페이스 펄스 발생기(lead cardiac pacing pulse generator)에 의해 제어되는 다중화 회로를 포함하는 다중 전극 심장 유도 어댑터(adapter)를 개시한다. 이와 유사하게, 미국 공개 특허 US 2006/0173364는 종래의 집적회로에 형성된 디지털 다중화 회로를 이용한 다채널의 전기 생리학적 획득 시스템을 개시한다. 미국 특허 제 6,666,821호는 비활성 될 때까지, 센서들이 주변 환경과 상호작용하는 것을 방지하는 관련 보호 부재를 갖는 이식 센서 어레이 시스템을 개시한다.

[0006] 국제 공개 특허 WO 2009/114689 및 미국 공개 특허 제 2013/0041235호 각각은 전체를 참조하여 통합되고, 생리적 활성을 기록하고 조절하는 가요성 있고, 확장 가능한 센서 배열들을 개시한다. 2009년 7월 7일에 공개된 미국 공개 특허 US 2008/0157235, US 2008/0108171, US 2010/0002402 및 U.S. Patent 7,557,367 모두는 전체를 참조하여 통합되고, 다층의 신축성 접이식 인쇄 가능한 반도체 장치를 개시한다.

[0007] 움직이는 손가락과 연관된 것과 같은 매우 복잡한 형태들을 포함하는 모든 종류의 곡면을 수용할 수 있는 표면상의 충실도가 높고 견고하며 신뢰할 수 있는 전자 장치에 대한 기술이 필요하다. 상기 복잡한 표면 형태와 상호 작용하는 전자 장치를 제공하는데 있어 한 가지 어려움은 넓은 접촉 면적 상에서 전자 장치와 복잡한 표면 형태 사이의 원활한 상호 작용을 달성할 수 있도록 대응되는 복잡한 표면 형상에 안정적으로 전자 장치를 제공하는 데 어려움이 있다는 것이다. 본 발명은 이러한 측면을 해결하는 다양한 장치 및 방법을 제공한다.

### 도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 탄성중합체 시트로 제조된 기관으로부터 상호 연결된 장치 구조를 인쇄 전사하는 공정의 모식도이다. (a) 개방형 메쉬 형성의 실리콘 웨이퍼 상에 형성된 상호 연결된 센서 및 전자 장치가 PDMS 슬래프(즉, 스템프)의 표면상으로 들어올려지고; (b) 메쉬의 이면 및 지지하는 PDMS 스템프는 SiO<sub>2</sub> 의 박막형 층으로 코팅되고, 탄성중합체 시트(에코플렉스(Ecoflex))에 압착되고; (c) PDMS를 제거하여 전사를 완료한다.

도 2는 탄성 중합체 손가락-튜브의 내표면 상에 신축성 메쉬 형상의 전기촉각 자극기의 다중 배열을 제조하기 위한 공정이다. (a) 모델의 손의 손가락에 탄성 중합체 전구체를 주조하고 치료하는 것은 박막형(~500 μm 두께), 폐쇄형 멤브레인, 즉 손가락-튜브를 산출하고; (b) PDMS 스템프(여기서, 유리 현미경 슬라이드)는 평평한 형상으로 압축되는 동안, 손가락-튜브의 외부 표면에 전기 촉각 장치를 전달하고; (c) 프리 스탠딩(freestanding) 손가락-튜브의 외측에 전기 촉각 장치이고; (d) 상기 뒤집기 과정의 중간 지점에서 보여지듯, 밖에서 내부로 튜브를 회전하거나 뒤집는 것은 손가락-튜브의 내표면에 어레이를 재배치하여, 이전 외표면은 내표면이되고, 이전 내표면은 외표면이 된다.

도 3은 Si NM 다이오드와 다중화된 전기 촉각 자극의 어레이에 “뒤집기” 공정 및 적용의 역학 모델링을 나타낸다. (a) 튜브의 반경(R<sub>radial</sub> = 7.5 mm) 및 최소 벤딩 반경(R<sub>axial</sub>) 사이 선형 관계를 보여주며, 내측에서 밖으로 튜브 뒤집기와 관련되어 구부러지는 동안 에코 플렉스(Ecoflex) 손가락-튜브의 산출된(분석 및 FEM) 프로파일(profiles)이고; (b) FEMsms 상기 공정 동안 내표면 및 외표면 상에 최대 변형이 일어나고; (c) (뒤집기 후) PIN Si NM 다이오드의 확대된 다이어그램(우측 상단) 및 이미지(우측 하단)를 포함하는 구부러진 형태의 메쉬 접속부를 갖는 다중화된 전기 촉각 어레이의 개략도이고; (d) 빨간 점선으로 나타낸 NMP의 위치를 포함하는 장치의 두 개의 영역의 개략적인 단면도이고, 뒤집기 공정 동안 최대 변형에 대한 분석적인 결과이고; (e) 뒤집기 전 후의 Si NM 다이오드의 I-V특성이고; (f) Si NM의 두께의 함수로서 Si NM 다이오드 및 h<sub>NMP</sub>(중성역학층 및 Si NM의 하부면 사이)의 최대 변형이다.

도4는 2 x 3, 손가락 튜브 상에서 다중화된 전기 촉각 어레이의 기계적 및 전자적 특성을 나타낸다. (a) 자극 주파수의 함수로서 전기 촉각 감각을 위해 필요한 전압. 삽입: 실험 동안 인간의 손가락에서 전기 촉각 배열이

고; (b) 인간 엄지 손가락과 접촉하는 다중화된 전기 촉각 전극의 I-V특성이고; (c) 다이오드 다중화 방식의 회로도이고; (d) 6개의 채널(H = High; L = Low) 각각을 어드레싱(addressing) 하기 위한 입력을 보여주는 함수표 이다.

도 5는 신축성 Si NM 변형 게이지의 어레이를 갖는 손가락 동작 검출을 나타낸다. (a) FEM은 세로 (y)방향을 따라 인가되는 전체 10% 변형에 의하여 게이지(구부러진 모양의 접촉부 메쉬의 상단에 직선, 수직 구조)의 1 x 4 어레이를 위한 최대 원리 변형의 결과가 일어난다. 상단 삽입은 노란 점선 박스(box)에 의해 강조된 게이지의 변형을 나타낸다. 하단 삽입은 FEM 결과들에 부합하는 레이아웃(layout)을 갖는 제작된 장치의 이미지를 제공한다; (b) 세로 방향을 따라 인가된 변형의 함수로 상대적인 Si NM 변형 게이지를 위한 레지스턴스의 실험적으로 측정되고 분석적으로 산출된 변화이고; (c) 직선 위치(I) 및 굽은 위치(II)에서 엄지손가락에 장착된 손가락-튜브상에 변형 게이지 어레이의 이미지이고; (d) 세 개의 굽은 사이클(검정) 및 좌우 이동(빨강)동안 상대적인 게이지 중 저항의 변화이고; (e) 직선 위치(III) 및 옆의 편향된 위치(IV)에서 엄지손가락의 중수골 부분에 적용된 박막형, 탄성중합체 시트 상에 변형 게이지의 이미지이고; (f) 좌우 이동의 세 주기동안 어레이의 두 단부에서 게이지의 레지스턴스의 변화이다.

도 6은 집적 커패시턴스 센서를 갖는 촉각 감지를 나타낸다. (a) 2 x 3 어레이 센서(전기 촉각 전극)용 내부 전극; (c) 동일 어레이용 외부 전극; (d) 인가된 압력 및 인장 변형을 갖는 단일 센서에서 커패시턴스의 측정되고, 분석적으로 산출된 변화를 나타낸다.

도 7은 기본 제조 공정의 개략도이다. (a) Si 기판이고; (b) 스핀 코트 회생 PMMA이고; (c) 스핀 코트 폴리이미드 (PI) 전구체/ 불활성화 분위기에서 205 °C 베이킹(bake)이고; (d) Au 증착/패터닝이고; (e) 스핀 코트 PI 전구체/ 불활성 분위기에서 205 °C 베이킹이고; (f) Au 전극을 노출하고, PI 메쉬 구조를 형성하는 O<sub>2</sub> RIE이고; (g) PDMS 스탬프의 아세톤/적용에서 PMMA 언더컷(undercut)이고; (h) PDMA 스탬프로 전달되는 장치이고; (i) 장치 후방에서 증발되는 Cr/SiO<sub>2</sub>이고; (j) UV가 노출된 에코플렉스(Ecoflex) 상에 가압되는 PDMS 스탬프이고; (k) PDMS 스탬프 제거와 함께 완료된 전사를 나타낸다.

도 8은 플라스틱 손 모델의 뒤집어진 탄성 중합체 에코플렉스 튜브의 개략도이다.

도 9는 탄성 중합체 기관의 내표면 상에 기능성 전자장치의 어레이에 대한 개략도이다.

도 10은 실리콘 전사 프린팅의 개략도이다. (a) SOI(silicon on insulator) 기판이고; (b) Si 층에서 RIE 식각 릴리스 홀(etch release holes)(3 μm)이고; (c) Si 층을 릴리스하기 위한 SiO<sub>2</sub>의 습식 식각(BOE(buffered oxide etch))이고; (d) Si와 접촉하여 가압되는 PDMS 스탬프; (e) 제거 시 PDMS 스탬프로 Si 전사를 나타내고; (f) PI층에 가압되는 전사된 Si를 갖는 PDMS 스탬프이고; (g) 150°C 에서 4분 동안 가열 후, 스탬프 제거 시에 장치로 전사된 Si를 나타낸다.

도 11은 전기촉각 자극기의 제조 공정을 나타내는 개략도이다. (a) 실리콘 기판이고; (b) 스핀 코트 100nm 회생 PMMA; (c) 스핀 코트/250°C 베이킹 1.2 μm 폴리이미드; (d) PIN 다이오드를 갖는 Si 층의 전사(릴리스 홀은 미도시); (e) Si 나노멤브레인PIN다이오드 및 Au 증착/패터닝의 RIE 격리; (f) 스핀 코트/250°C 베이킹 1.2 μm 폴리이미드; (g) O<sub>2</sub> RIE와 PI에 형성된 다이오드를 위한 접촉 바이어스; (h) Au 증착/패터닝; (i) 스핀 코트/ 250 °C 베이킹 1.2μm 폴리이미드; (j) 폴리이미드 메쉬 구조를 형성하고 전기 촉각 전극을 노출하는O<sub>2</sub> RIE을 나타낸다.

도 12는 변형 게이지를 위한 제조 공정을 나타내는 개략도이다. (a) 실리콘 기판; (b) 스핀 코트 100nm 회생 PMMA; (c) 스핀 코트/250°C 베이킹 1.2 μm 폴리이미드; (d) p-도핑된 Si (릴리스 홀은 미도시)의 전사; (e) Si 변형 게이지 나노막의 RIE 격리; (f) Au 증착/패터닝; (g) 스핀 코트/250°C 베이킹 1.2 μm 폴리이미드; (h) 폴리이미드 메쉬 구조를 형성하는O<sub>2</sub> RIE이다.

도 13은 촉각 전극을 위한 제조 공정을 나타내는 개략도이다. (a) 실리콘 기판; (b) 스핀 코트 100nm 회생 PMMA; (c) 스핀 코트/250°C 베이킹 1.2μm 폴리이미드; (f) 폴리이미드 메쉬 구조를 형성하기 위한 O<sub>2</sub> RIE를 나타낸다.

도 14A내지 도14C는 본 발명의 부속체 장착 전자 시스템의 다양한 도면이다.

도 15는 부속체를 수용하고, 외부면과 상호작용하는 본 발명의 부속체 장착 전자 시스템의 도면이다.

도 16은 기관의 내표면(30)상에서 지지되는 전자장치를 포함하는 시스템을 나타낸다.

도 17은 본 발명의 부속체 장착 전자 시스템을 위한 방법을 나타낸다.

도 18은 본 발명의 어느 시스템을 형성하기 위한 일 실시예의 공정 흐름도를 나타낸다.

도 19는 내부 및 외부 기관 표면 둘 다에 커패시턴스 기반의 촉각 센서의 개략도이다.

도 20은 물체 표면에 대하여 기관을 주조함으로써 본 발명의 어떤 시스템을 형성하기 위한 일 실시예의 공정 흐름도를 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009]

본 발명은 시간에 따라 형태가 변할 수 있는 매우 불규칙한 형태의 표면을 포함한 표면의 범위 및 표면 형태와 전기적 상호작용을 가능하게 하기 위해 가요성 표면에 결합할 수 있는 초박형 가요성 및 신축성 전자 장치에 대한 장치 및 방법을 제공한다. 일 실시예에 따르면, 본 발명은 움직임에 따라 이동하고 형태가 변하는 사람의 부속체와 같은 다른 표면을 접하는 적어도 하나의 표면을 갖는 복잡한 형태를 포함하는 완전히 삼차원적으로 변화하는 표면을 포함하는 곡면을 감싸고 따르기 위한 형태의 봉합부(enclosure)를 갖는 전자 장치에 대한 것이다. 대안적으로, 부속체는 원격 감지 장치 또는 로봇 장비와 같은 비생물 장치 또는 무생물 물체의 일부일 수 있다.

[0010]

일 측면에서, 본 발명은 (i) 내표면 및 외표면을 갖는 가요성 또는 신축성 기관이되, 상기 내표면은 곡면을 갖는 부속체를 수용할 수 있는 봉합부(enclosure)를 한정하는 것을 특징으로 하는 기관; 및 (ii) 상기 가요성 또는 신축성 기관의 상기 내표면 또는 상기 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서들, 액추에이터들, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자 장치이되, 상기 센서들, 액추에이터들, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고, 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 전자장치를 포함하고; 여기서 상기 가요성 또는 신축성 기관 및 상기 전자 장치는 상기 기관의 상기 내표면이 상기 봉합부 내에 제공된 상기 부속체의 표면과 등각 접촉을 성립할 수 있도록 충분히 낮은 순굽힘강성을 갖는 부속체에 장착가능한 전자 시스템을 제공한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 부속체는 손, 손가락, 손가락 끝, 두개골, 코, 귀, 치아, 발, 발가락, 다리, 팔, 몸통, 또는 그 중에 어느 부분이다. 일 실시예에서, 예를 들면, 본 발명의 시스템은 수술용 의료장갑과 같은 손을 감싸는 기계화된 장갑 또는 손가락 또는 손가락 끝을 감싸는 기계화된 손가락-튜브를 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 본 발명은 인간-기계 인터페이스 시스템을 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 본 발명의 시스템은 로보틱적 작동을 위한 장치를 포함한다.

[0011]

일 실시예에서, 예를 들면, 가요성 또는 신축성 기관 및 상기 전자 장치는  $1 \times 10^8 \text{ GPa } \mu\text{m}^4$  이하의 시스템의 순굽힘강성을 제공한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 장치의 순굽힘강성은 기관의 내표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두가 상기 봉합부 내에 제공된 부속체의 표면과 등각접촉을 성립할 수 있을 정도로 충분히 낮다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 가요성 또는 신축성 기관 및 상기 전자 장치는  $1 \times 10^{-4} \text{ Nm}$  이하의 시스템 순굽힘강성을 제공한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 기관은 상기 기관은 가요성 기관이고 상기 전자장치는 가요성 전자장치이다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 기관은 신축성 기관이고 상기 전자장치는 신축성 전자장치이다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 시스템은 중성역학층(neutral mechanical plane)인 것을 특징으로 하고, 하나 이상의 무기 반도체 소자 또는 하나 이상의 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분이 중성역학층에 인접하게 위치된다. 일 실시예에서, 인가된 변형에 가장 민감한 기계적 특성을 갖는 금속을 포함하는 변형-민감성 금속은 중성역학층에 일치하게 또는 선택적으로 근접하게 위치된다.

[0012]

본 발명의 어느 시스템은 2 내지 1000개의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두를 포함한다. 일 실시예에서, 전자 장치는 적어도 3개 이상의 상이한 종류의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두를 포함한다. 일 측면에서, 하나 이상의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두는 개방형 메쉬 형태로 제공된다.

[0013]

상기 시스템 중 어느 것은 하나 이상의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두의 측면에서 선택적으로 기술된다.

일 실시예에서, 족적 표면적은  $0.5\text{ cm}^2$  내지  $100\text{ cm}^2$  범위에서 선택된다. 일 측면에서, 족적 표면적은 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 어레이(array)에 해당하고, 상기 각각의 센서 또는 액츄에이터는 상대적으로 작은 각각의 족적을 포함하지만, 어레이의 부재들은 더 큰 영역의 족적을 포함하는 원하는 족적을 제공하도록 분산된다. 따라서, 접촉되는 부속체의 표면 영역처럼, 원하는 용도에 따라, 족적 영역은 상응하게 선택된다. 상기 방법으로, 손가락 끝 부속체 시스템은  $0.5\text{ cm}^2$  내지  $2\text{ cm}^2$ 의 족적 표면적을 포함할 수 있지만, 팔, 다리 또는 머리에 대한 족적 표면적은  $10\text{ cm}^2$  내지  $100\text{ cm}^2$ 로 더 크게 하는 것이 바람직할 수 있다.

[0014]

본 발명의 시스템은 원하는 용도에 따라 광범위한 센서와 호환할 수 있다. 예들은 전극, 촉각 센서, 변형 게이지(strain gauge), 커패시턴스 센서, 온도 센서, 압력 센서, 동작 센서, 위치 센서, 변위 센서, 가속도 센서, 힘 센서, 화학 센서, pH 센서, 커패시티브 센서, 광 센서, 광 검출기, 활상 시스템 및 이들의 임의의 어레이 및 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 센서들을 포함한다.

[0015]

본 발명의 시스템은 용도에 따라 광범위한 액츄에이터와 호환할 수 있다. 예로는 전기촉각 자극기, 전극, 열원(열 액츄에이터), 압전 소자, 음향 소자, RF 에너지원, 자기 액츄에이터, 전자기 방사원, 레이저, 광원, 발광 다이오드와 어레이 및 이들의 임의의 어레이 및 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 액츄에이터를 포함한다.

[0016]

일 실시예에서, 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 상기 가요성 또는 신축성 기관의 내표면에 의해 지지되고, 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부가 상기 가요성 또는 신축성 기관의 외표면에 의해 지지된다. 일 실시예에서, 일 실시예에서, 전자 장치는 탄성 중합체인 기관의 두께를 변경하는 인가된 압력에 의해 전자 표면 사이의 이격 거리에 따라 변화하는 출력을 제공하기 위해 서로 통신하는 내부 및 외부 표면 모두에 전자장치를 정렬하거나 패어링하는 가압 센서와 같은 양 표면에 의해 지지될 수 있다. 상기 방법으로, 장치는 광 강도로, 광 특성의 측정을 제공하는 온도의 측정 값, 광원과 광 검출기를 제공하는 커패시턴스의 측정, 열원과 센서를 제공하는 전극일 수 있다. 이들 시스템의 공통적인 특징은 상기 장치의 출력이 교대로 인가된 압력 또는 힘에 따라 장치 사이의 기관 두께에 의존한다는 것이다. 상기 방법으로, 시스템은 외부 표면과 압력 또는 힘의 측정을 위한 고유한 플랫폼(platform)을 제공한다.

[0017]

일 실시예에서, 전자 장치는 어레이로 제공되고, 봉합부 내에 부속체를 전기적으로 자극하도록 기관의 표면에 의해 지지되는 복수의 전기 촉각 자극기를 포함한다. 일 측면에서, 기능적 전자 장치는 다중 어레이의 전기촉각 자극기들을 포함한다. 일 측면에서, 상기 어레이의 전기 촉각 자극기들은 구부러진 모양의 전기적 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호 연결된다.

[0018]

일 측면에서, 본 발명의 어느 전기촉각 자극기는 내부 구역이 외부구역에 의해 둘러싸여 있는 박막 금속 구조를 포함하고, 상기 간격은 내부 구역과 외부 구역 사이에 제공된다. 상기 영역은 치수적 측면에서 선택적으로 설명된다. 예로는  $10\text{ }\mu\text{m}$  내지  $1000\text{ }\mu\text{m}$ 의 범위로부터 선택된 측면치수들을 갖는 내부구역,  $10\text{ }\mu\text{m}$  내지  $5000\text{ }\mu\text{m}$ 의 범위로부터 선택된 측면치수들을 갖는 외부 링 및  $10\text{ }\mu\text{m}$  내지  $1000\text{ }\mu\text{m}$ 의 범위로부터 선택된 측면치수들을 갖는 간격을 포함한다.

[0019]

일 실시예에서, 내부 영역은 전도성 디스크 형태의 전극이고, 외부 영역은 상기 디스크 형태 전극에 동심원 형태로 위치하는 전도성의 고리형태 전극이다.

[0020]

일 실시예에서, 전기 장치는 어레이로 제공되고 상기 기관의 외표면, 내표면, 또는 외표면 및 내표면에 의해 지지되는 복수의 촉각 센서를 포함한다. 일 측면에서, 전자 장치는 촉각 센서의 다중화된 어레이를 포함한다. 페어링된(Paired) 전자장치는 정렬하는 것 외에, 본 발명에서 제공된 시스템들에 중 어느 것에 대해서도 또는 어

는 것에 의해서도 반대의 탄성중합체 기관 표면에 방출된 압력 또는 힘을 측정하는 하나의 수단을 제공한다.

- [0021] 일 실시예에서, 촉각센서의 어레이는 구부러진 전기적 접속부의 네트워크를 통해 독립적으로 연결되면서 전기적으로 상호 접속된다.
- [0022] 일 측면에서, 촉각센서 각각은 100  $\mu\text{m}$  내지 5000  $\mu\text{m}$ 의 범위로부터 선택된 측면 치수를 갖는 박막 금속 구조를 포함한다. 일 예로, 촉각센서의 박막 금속 구조는 전도성의 디스크 형태의 전극이다.
- [0023] 다른 실시예에서, 전기 장치는 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 촉각 센서 및 내표면에 의해 지지되는 하나 이상의 전기촉각 자극기를 포함하고, 여기서 상기 하나 이상의 촉각 센서의 출력값에 비례하여 상기 부속체를 전기적으로 자극하기 위해 상기 하나 이상의 촉각 센서의 출력값은 하나 이상의 전기촉각 자극기에 제공되는 것으로 하나 이상의 촉각 센서는 상기 하나 이상의 전기촉각 자극기와 전기적 소통이 가능하다. 일 측면에서, 내표면 및 외표면 어레이는 공간적으로 정렬된다. “공간적으로 정렬된”은 센서의 위치 및 부속체에 해당 자극에 따른 다양한 센서 출력의 크기에 따라 공간적으로 다양한 센서 어레이로부터 출력을 의미하며, 센서로부터 공간적으로 다양한 출력에 따라 상응하여 공간적으로 다양하다.
- [0024] 일 측면에서, 전자 장치는 복수의 전극을 포함하고, 각각은 전극은 1mm미만의 직경을 갖는 내부 디스크; 상기 내부 디스크를 둘러싸는 외부 링을 포함하고, 여기서, 상기 내부 디스크 및 외부링은 상호 동심원을 중심으로 배치되며, 상기 내부 디스크와 외부링 사이의 이격 거리는 100  $\mu\text{m}$ 이상 또는 500  $\mu\text{m}$ 이하의 범위에서 선택된다.
- [0025] 필요에 따라, 어느 시스템은 내표면, 외표면 또는 두 가지 모두에 의해 지지되는 하나 이상의 추가적인 전자소자를 더 포함하고; 상기 추가적인 전자 소자는 센서, 액츄에이터, 전원 공급원, 무선 전원 공급원, 광전지 장치(photovoltaic device), 무선 트랜스미터, 안테나, 나노일렉트로메카니컬 시스템(nanoelectromechanical system), 마이크로일렉트로메카니컬 시스템(microelectromechanical system) 및 어레이 및 이들의 임의의 조합으로 이루어진 군에서 선택된다. 일 측면에서, 하나 이상의 추가적인 전자 소자들은 하나 이상의 반도체 나노멤브레인(nanomembrane)들을 포함하는 변형게이지와 같은 변형 게이지를 포함한다.
- [0026] 일 실시예에서, 각 반도체 나노멤브레인은 독립적으로 1  $\mu\text{m}$  내지 10 mm의 범위에서 선택된 측면치수 및 100 nm 내지 100  $\mu\text{m}$  범위에서 선택된 두께를 갖는다.
- [0027] 일 측면에서, 변형 게이지는 적어도 세 개의 전자적으로 연결된 복수의 반도체 나노멤브레인을 포함한다.
- [0028] 일 측면에서, 반도체 나노멤브레인은 구부러진 모양의 전기적 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호접속된다.
- [0029] 일 실시예에서, 본 발명에서 제공되는 어느 시스템은 하나 이상의 무기 반도체 소자를 포함하고, 상기 무기 반도체 소자 각각은 독립적으로 다결정 반도체 물질, 단결정 반도체 물질 또는 도핑된 다결정 또는 단결정 반도체 물질을 포함한다.
- [0030] 일 측면에서, 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은 독립적으로 단결정 반도체 물질을 포함한다. 일 측면에서, 하나 이상의 무기 반도체 소자 각각은 독립적으로 100  $\mu\text{m}$  이하인 두께를 갖는다. 일 측면에서, 전자 장치의 무기 반도체 소자 각각은 50nm 내지 100  $\mu\text{m}$ 의 범위에서 선택된 두께를 갖는다. 일 측면에서, 전자 장치의 무기 반



도체 소자 각각은  $1 \times 10^{-4} \text{ Nm}$  이하의 순굴곡강성, 0.5 MPa 내지 10GPa 범위에서 선택된 영률,  $1 \times 10^8 \text{ GPa}/\mu\text{m}^4$  이하의 순굽힘강성을 갖는다.

[0031] 일 실시예에서, 하나 이상의 무기 반도체 소자들 각각은 반도체 나노멤브레인 구조를 독립적으로 포함하고, 상기 나노멤브레인 구조는 다이오드 전자 소자이다.

[0032] 다른 측면에서, 본 발명의 어느 시스템들은 하나 이상의 금속 소자를 포함한다. 일 측면에서, 하나 이상의 금속 컨덕터 소자는 어레이 안에 복수의 전극을 포함한다.

[0033] 일 실시예에서, 이러한 어레이 내에서 본 발명의 어느 금속 전극은 두께의 측면에서 설명된다. 일 측면에서, 어레이 내의 전극은 독립적으로  $100 \mu\text{m}$  이하의 두께 또는 50nm 내지  $100 \mu\text{m}$  범위에서 선택된 두께를 갖는다. 일 실시예에서, 전극 어레이에서 전극들의 수는 10 내지 10,000개의 범위에서 선택된다.

[0034] 일 측면에서, 어레이의 전극은 구부러진 모양의 전기적 접속부의 네트워크를 통해 전기적으로 상호 접속된다.

[0035] 일 실시예에서, 본 발명의 어느 시스템은 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 전자 장치 모두가 복수의 전극들, 멀티플렉스 회로망, 증폭 회로망을 포함하는 신축성 또는 가요성 전극 어레이를 포함한다. 일 측면에서, 신축성 또는 가요성 전극 어레이는 50개 이상의 전극 유닛 셀들과 같은 복수의 전극 유닛 셀들을 포함한다. 또한, 선택적으로, 전극 어레이의 인접 전극 유닛 셀들은  $50 \mu\text{m}$  이하의 거리 또는 500 nm 내지  $50 \mu\text{m}$ 의 범위에 의해 서로 분리된 인접 유닛 셀들처럼 분리 거리의 관점에서 설명된다. 일 실시예에서, 전극 어레이의 전극 유닛 셀들은  $10 \text{ mm}^2$  내지  $10,000 \text{ mm}^2$  범위의 가용성 또는 신축성 기관 영역에 의해 지지된다.

[0036] 일 측면에서, 전극 어레이의 전극 유닛 셀들 각각은 콘택트패드, 증폭기 및 멀티플렉서를 포함하고, 여기서 상기 콘택트패드는 조직에 전기적 인터페이스를 제공하고 상기 증폭기 및 멀티플렉서와 전기적 소통이 가능하다. 일 실시예에서, 상기 유닛 셀의 증폭기 및 멀티플렉서는 복수의 트랜지스터들을 포함한다.

[0037] 본 발명의 어느 하나 이상의 금속 컨덕터 소자는 복수의 신축성 전기적 접속부를 포함한다. 선택적으로 신축성 전기적 접속부는 적어도 부분적으로 자립형이거나 묶인 형상으로 제공된다. 선택적으로, 신축성 전기적 접속부는 곡선 형태를 포함한다. 선택적으로, 상기 전기적 접속부는 구부러진 형태를 포함한다. 선택적으로, 신축성 전기적 접속부는 하나 이상의 무기 반도체 소자들, 하나 이상의 금속 소자들의 적어도 일부분, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자들 및 하나 이상의 금속 소자들을 포함하는 고정 장치 아일랜드를 전기적으로 연결한다.

[0038] 일 측면에서, 고정 장치 아일랜드의 적어도 일부는 각각 독립적으로 단결정 무기 반도체 구조 또는 단결정 반도체 나노멤브레인을 포함한다.

[0039] 일 측면에서, 고정 장치 아일랜드는 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두가지 모두를 포함한다. 이 때, 상기 센서 또는 액츄에이터는 전극, 촉각센서, 변형 게이지, 커패시턴스 센서, 온도 센서, 압력 센서, 동작 센서, 위치 센서, 변위 센서, 가속도 센서, 힘 센서, 화학 센서, pH센서, 커패시티브 센서, 광 센서, 광 검출기, 활상 시스템, 전기촉각 자극기, 전극, 열원, 압전 소자, 음향 소자, RF 에너지원, 자기 액츄에이터, 전자기 방사원, 레이저, 발광 다이오드와 어레이 및 이들의 어느 어레이 및 조합으로 이루어진 군에서 선택된다.

[0040] 본 발명의 어느 시스템은 가요성 또는 신축성 기관의 외표면, 내표면 중 하나 또는 외표면, 내표면 모두에 의해

지지되는 가요성 또는 신축성 전자 장치의 적어도 일부를 포함한다. 일 측면에서, 내표면 및 외표면은 가요성 또는 신축성 기관의 내표면 또는 외표면에 의해 지지되는 하나 이상의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두의 기능성 파라미터를 실질적으로 감소시키지 않으며, 상호적으로 뒤집을 수 있다.

[0041] 예를 들면, 액추에이터, 센서의 어레이 또는 액추에이터 및 센서를 포함하는 시스템은 액추에이터, 센서의 어레이 또는 액추에이터 및 센서의 기능성 파라미터의 실질적인 감소 없이, 내부 및 외부 및 내부와 외부 구성들 사이 상호적으로 뒤집을 수 있다. 일 측면에서, 뒤집기(flipping)은 내표면 상의 전자장치의 배치를 용이하게 하여 종래의 인쇄 기술에 접근하거나, 따를 필요가 없다. 일 실시예에서, 전자 장치를 지지하는 외표면이 뒤집어진 후에 외표면에 의해 지지되는 기능적 전자 장치가 내표면에 의해 지지되는 기능적 전자장치가 되도록 한다. 기능적 전자 장치는 전기촉각 자극기들의 어레이이고, 외표면이 내표면으로 뒤집힌 이후에도 상기 전기촉각 자극기들의 적어도 90%가 기능을 유지한다.

[0042] 일 측면에서, 가요성 또는 신축성 기관은 폐쇄된 튜브 형상을 갖는다. 일 실시예에서, 상기 폐쇄된 튜브 형상은 하나의 액세스 개방 또는 두 개의 액세스 개방을 갖는다.

[0043] 일 측면에서, 봉합부는 5 mm 내지 1000 cm 범위에서 선택된 횡단면 치수를 갖는다. 원하는 용도에 따라, 횡단면 치수는 적절히 선택된다. 예를 들면, 손가락 끝 전자장치는 몸통(torso) 또는 머리 전자 시스템보다 더 작은 횡단면 치수를 가질 수 있고, 연결된 원격 감지 차량 또는 기기 표면보다 더 작을 수 있다.

[0044] 일 실시예에서, 본 발명의 가요성 또는 신축성 기관은 탄성 중합체 기관이다.

[0045] 일 측면에서, 가요성 또는 신축성 기관은 폴리머, 무기 폴리머, 유기 폴리머, 플라스틱, 탄성중합체, 바이오 폴리머, 열경화성수지, 고무, 또는 이들의 어느 조합이다. 일 측면에서, 가요성 또는 신축성 기관은 PDMS, 파릴렌, 폴리이미드 또는 Ecoflex<sup>®</sup> (Smooth-On사) 실리콘이다. 일 측면에서, 가요성 또는 신축성 기관은 생체 적합성 재료 또는 생체 불활성 물질이다.

[0046] 일 실시예에서, 가요성 또는 신축성 기관은 0.25  $\mu\text{m}$  내지 10,000  $\mu\text{m}$  범위에서 선택된 평균 두께를 갖으며, 상기 범위는 약 1  $\mu\text{m}$  내지 5 mm, 또는 약 1 mm, 이들의 임의의 조합을 포함한다.

[0047] 일 측면에서, 가요성 또는 신축성 기관은 전자 장치를 지지하는 실질적으로 균일한 두께를 갖거나, 하나 이상의 측면치수에 따라 선택적으로 달라지는 전자 장치를 지지하는 두께를 갖는다. 이러한 맥락에서, “실질적으로 균일한”은 약 10% 미만, 5% 미만 또는 1% 미만에서 변화하는 두께를 가지는 움직이지 않는 기관을 의미한다. 또한, 실질적으로 균일하다는 것은 약 10% 미만, 5% 미만 또는 1% 미만에서 변화하는 두께를 가지는 봉합부에서 부속체를 받는 기관을 의미한다. 선택적으로, 실질적으로 균일하다는 것은 기관의 선택된 부분에 대해 평균 두께의 약 10%, 5% 또는 1% 내에 있거나, 전체 기관 표면 영역에 걸쳐 있는 평균 두께의 평균값의 표준 오차 또는 표준 편차와 같은 통계적 파라미터를 의미한다.

[0048] 일 실시예에서, 가요성 또는 신축성 기관은 가요성 또는 신축성 메쉬 구조이다. 일 실시예에서, 전자 장치의 적어도 일부는 메쉬 구조를 갖는다. 메쉬 구조의 예로는 개방형 메쉬 형상을 포함하고, 굽어 있지만 일반적으로 배열 방향을 가지는 세로방향으로 정렬된 상호 연결용 등에 관련된 실질적인 부분은 개방형 공간 또는 빈 공간이다. 유사하게, 세로 방향으로 배열된 기관의 스트립은 시스템에 장착된 부속체에 추가적인 통기성들을 제공하기 위해 제공될 수 있다. 추가적으로, 기관은 구멍 또는 통로를 포함할 수 있다. 상기 메쉬 부분은 원하는 용도에 따라, 약 10% 내지 90%, 및 이들의 부분 범위, 20%내지 80%, 30% 내지 70%와 같이, 둘레가 정의된 기관 족적



과 비교되는 개방형 공간의 상대적인 양을 조건으로 정의될 수 있다.

- [0049] 일 측면에서, 가요성 또는 신축성 기관은 0.5 KPa 내지 10 GPa 범위에서 선택되는 평균 영률을 갖고/갖거나, 500%이상, 500% 내지 900%인 파단 변형률을 갖는다.
- [0050] 본 발명의 일부 시스템은 적어도 일부를 캡슐화하는 장벽층을 더 포함할 수 있다. 예를 들면, 상기 장벽층은 시스템과 접촉해 있는 물질에 악영향을 주지 않는 수준으로 전자 장치로부터 순누설 전류를 제한하거나, 또는 시스템과 접촉해 있는 물질에 악영향을 주지 않는 수준으로 전자장치로부터의 열전달을 제한한다. 이는 봉합부 내의 부속체를 덮는 생체 조직과 같이, 전기적 또는 열적 누설에 의해 부정적인 영향을 받을 수 있는 생물학적 시스템의 맥락에서 특히 유리할 수 있다.
- [0051] 또한, 장벽층은 전자장치의 적어도 일부로 외부 액체가 통과하는 것을 실질적으로 방지할 수 있다. 이는 전자장치의 기능, 견고성 및 장기 마모 특성을 유지하는데 유리할 수 있다.
- [0052] 일 실시예에서, 장벽층은 폴리머, 무기 폴리머, 유기 폴리머, 플라스틱, 탄성중합체, 바이오 폴리머, 열경화성 수지, 고무, 또는 이들의 어떤 조합이다. 일 실시예에서, 장벽층은 PDMS, 파릴렌, 폴리이미드, 또는 Ecoflex<sup>®</sup>이다. 일 실시예에서, 장벽층은 가요성 또는 신축성 기관에 해당하는 조성물을 포함한다.
- [0053] 일 측면에서, 장벽층은 1  $\mu\text{m}$  내지 100  $\mu\text{m}$  범위에서 선택된 평균 두께를 갖고, 0.5 KPa 내지 10 GPa 범위에서 선택되는 영률을 갖는다. 선택적으로, 장벽층은 가요성 또는 신축성 기관의 평균 두께에 대한 장벽층의 평균 두께의 비율에 의해 설명되고, 상기 가요성 또는 신축성 기관에 대한 상기 장벽층의 평균 두께 비율은 0.01 내지 1 범위에서 선택되는 비율이다. 특정 적용에 따라, 장벽층은 원하는대로 위치된다. 위치의 예는 인접 장치 층들 사이 및/또는 장치 층 및 부속체, 공기, 또는 외부 표면과 같은 주변환경 사이를 포함한다. 일 측면에서, 장벽층은 메쉬구조를 갖는다.
- [0054] 일 실시예에서, 시스템은 하나 이상의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부를 전기적으로 연결하는 하나 이상의 신축성 접속부를 더 포함한다. 상기 신축성 접속부는 상기 시스템에 신축성 및/또는 가요성을 부여하도록 구성될 수 있다. 어느 하나 이상의 신축성 접속부는 구부러진 형태로 제공되는 전기적 전도성 금속을 포함한다.
- [0055] 구부러진 형태는 넓게 사용되고, 구부러진 형태의 나노와이어를 포함할 수 있다. 상기 나노와이어는 직사각형 단면을 가질 수 있고, 50 nm 내지 1  $\mu\text{m}$  범위에서 선택되는 두께 및 10  $\mu\text{m}$  내지 1 mm 범위에서 선택되는 폭을 가질 수 있다. 구부러진(serpentine) 형태는 상호접속 단부 사이의 직선에 의해 한정되는 평균 세로 방향에 대하여 복수의 방향 변화가 일어나 구불구불할 수 있다. 일 측면에서, 구부러진 형태는 100  $\mu\text{m}$  내지 10 mm 범위에서 선택된 평균 곡률 반경 특성을 갖는다.
- [0056] 일 측면에서, 시스템은 적어도 두 개 이상의 접속부 층에 배치된 복수의 접속부를 포함하고, 인접 접속부 층은 전기적 절연 탄성중합체층으로 된 장벽층에 의해 분리된다. 상기 구성은 간편한 상부 연결 배선에 용이하다. 일 측면에서, 전자 장치는 적어도 하나 이상의 접속부에 전기적으로 연결된 고정 장치 아일랜드를 포함하고, 상기 접속부의 구부러진 형태는 박막형의 탄성중합체 기관의 구부러짐 및 신축성으로부터의 압박을 수용한다. 일 측면에서, 구부러짐 또는 신축성 압박은 가요성 또는 신축성 기관의 내표면 및 외표면을 뒤집는 것에서 기인한다.
- [0057] 일 측면에서, 시스템은 중성역학층(NMP)을 포함하고, 상기 중성역학층은 변형 민감성 소자의 깊이에 해당하는

깊이에 위치된다. 예를 들면, 중성역학층은 반도체 또는 금속 물질과 같은 변형 민감성 소자등의 변형 민감성 소자들에 의해 또는 변형 민감성 소자들 내에서 한정된 표면과 함께 실행할 수 있다. 선택적으로 중성역학층은 상기 층들의 두께를 다양화함으로써 포함하는 기관 또는 장벽층을 제공함으로써 위치한다.

[0058] 일 측면에서, 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속소자 또는 두가지 모두의 적어도 일부가 인쇄가능한 구조이다. 일 실시예에서, 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 전사 인쇄를 통해 가용성 또는 신축성 기관에 조립된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 마이크로 전사 인쇄, 점점 전사 인쇄, 용액 기반 인쇄, 소프트 리소그래피 인쇄, 복사 조형 또는 임프린트 리소그래피를 통해 상기 가요성 또는 신축성 구조상에 조립된다.

[0059] 일 실시예에서, 봉합부는 부속체를 받고 덮기 위해 내부 부피 및 적어도 하나의 개구부를 가진다. 일 측면에서, 봉합부 내부 부피는  $1\text{ cm}^3$  이상 및  $10,000\text{ cm}^3$  이하이다.

[0060] 일 측면에서, 봉합부는 실질적으로 원통형 또는 반구형을 갖는다. 일 측면에서, 봉합부는 손, 손가락, 손가락 끝 또는 이들의 어느 부분을 수용하는 형태이다.

[0061] 일 측면에서, 봉합부는 부속체를 수용하기 위한 하나 또는 두 개의 개구부를 갖는다. 상기 개구부는 손가락 또는 손 부분을 포함하는 부속체를 수용하는 하나의 개구부, 또는 팔, 다리, 또는 몸통을 수용하기 위한 두 개의 개구부이고, 상기 부속체의 일부는 제 1 및 제2 개구부 봉합부를 통해 연장된다.

[0062] 일 측면에서, 가용성 또는 신축성 기관은 세로 방향의 힘의 영향 하에서 부속체를 감싸거나 가로방향 힘의 영향 하에서 부속체를 감싼다.

[0063] 일 실시예에서, 부속체는 손가락, 팔, 다리, 머리, 몸통 또는 이들의 일부와 같은 생물의 일부이다.

[0064] 일 실시예에서, 본 발명의 어느 시스템은 내표면 및 외표면과 같은, 반대 표면에 의해 지지되는 제 1 및 제 2 전자장치와 관련있다. 상기 장치는 서로 통신한다. 장치의 종류에 따라, 통신은 장치 사이에서 기관 두께를 변화시키는 전자 파라미터(커패시턴스) 또는 열(온도)와 같은 파라미터에 의해 특성을 갖는다. 바람직하게, 기관은 탄성중합체이다. 상기 방법으로, 압력 센서는 제공되고, 상기 통신 파라미터는 기관 두께에 의존하며, 인가된 펄스 또는 기관상에 가해진 압력에 교대로 의존한다.

[0065] 일 측면에서, 봉합부는 상응하는 부속체의 치수에 비해 더 작은 수용 치수를 가지고, 사용중에 상기 가요성 또는 신축성 기관의 변형이 증가하여 수용 치수가 가요성 또는 신축성 전자 장치에 악영향을 주지 않고, 봉합부 내에 부속체를 수용할 수 있도록 한다. 일 실시예에서, 변형은 기관 내표면 및 부속체의 표면에 의해 지지되는 가요성 또는 신축성 전자장치 사이에 친밀 접촉 및 등각 접촉을 형성하고 유지하기 위해 봉합부 내의 탄성 중합체 기관 및 부속체 사이 접촉력을 발생시킨다. 일 측면에서, 변형은 1%이상 및 100% 이하인 범위에서 선택된다.

[0066] 일 측면에서, 센서, 액츄에이터 또는 두 가지 모두의 배열은  $1\text{ mm}^{-2}$  및  $1\text{ cm}^{-2}$  사이인 범위에서 선택된 공간 밀도에 관하여 설명된다.

[0067] 일 측면에서, 어느 시스템은 다기능적이고, 여기서, 상기 내표면은 액츄에이터 또는 센서의 제 1 어레이를 지지하고, 외표면은 센서 또는 액츄에이터의 제 2 배열을 지지한다. 일 실시예에서, 제 1 어레이는 제 1 어레이의

전자장치들과 등각접촉에 있는 생물 피부와 인터페이스하기 위한 전기촉각 자극기들을 포함하고, 상기 제 2 어레이는 외표면과 촉각 상호 작용에서의 물리적 파라미터들을 측정하기 위한 촉각센서들을 포함한다. 일 측면에서, 촉각 센서는 전극들 사이의 커패시턴스를 측정하기 위한 내표면 및 외표면 상에 대향 전극들을 포함하고, 상기 커패시턴스는 대향 전극들 사이에서 기관 두께를 변화시킨다.

[0068] 일 측면에서, 내표면은 제 1 전자 장치를 지지하고, 외표면은 제 2 전자 장치를 지지한다. 상기 전자 장치는 반대 구성으로 서로 소통하고, 예를 들면 가압센서를 형성한다. 일 측면에서, 소통은 전자적 소통(커패시턴스)이고, 전자적 성질은 제 1 및 제 2 반대 전자장치 사이 기관 두께를 다양하게 한다. 일 측면에서, 장치는 열로 소통하고, 상기 열적 성질은 반대 전자장치 사이 기관 두께를 변화시킨다. 일 측면에서, 장치는 기계적 소통(압력 또는 힘)에 존재한다.

[0069] 일 실시예에서, 제 1 및 제 2 전자장치는 서로 열 소통한다. 예를 들면, 하나의 전자 장치는 히터일 수 있고, 제 2 전자 장치는 내표면 또는 외표면상에 위치하는 히터 및 반대 표면상에 열 센서를 갖는 열센서일 수 있다. 상기 열은 지지 표면 상에 일정한 온도를 유지할 수 있다. 상기 방법으로 열 및 센서 사이 열 소통은 기관에 대하여 인가된 압력 또는 힘의 크기에 따라 다양한 기관의 두께에 대해 가해지는 압력 또는 힘을 평가하는데 사용된다. 일반적으로, 더 높게 인가된 압력으로, 기관 두께는 감소하고, 이로써, 히터에서 센서로 열 센서에 의해 감지되는 온도의 증가에 의해 검출되는 열 전도성이 증가한다. 일 측면에서, 히터는 저항 히터이고, 히터의 온도는 열 패드와 연결된 전기적 전도성 와이어에 의해 전류 증가로 증가한다. 일 측면에서, 부속체는 생체 조직이고, 바람직하게 히터는 생체 조직의 원하지 않는 가열을 피하기 위해 외표면 상에 위치된다. 또한, 열 센서는 내표면 상에 히터와 정렬될 수 있다. 일 측면에서, 시스템은 주위 온도의 변동을 조절하기 위해 짝지어 지지 않은 열 센서의 사용에 의해 교정될 수 있다. 또한, 통신은 광 소스 및 광검출기 사이 광학적일 수 있고, 광 전송은 소스 및 검출기 사이 기관 두께의 기능에 따라 다양하다.

[0070] 일 측면에서, 센서는 본 발명의 어느 시스템의 내표면 상에 제공된다. 센서 또는 센서들은 신체 중심 온도의 측정을 포함하는 신체 온도를 측정하기 위한 하나 이상의 열 센서일 수 있고, 전체 신체 수분 측정을 포함하는 수분 수준을 측정하기 위한 수분 센서, 또는 신체적 관심 파라미터(예를 들면, pH, 산소 수준 등)를 검출하기 위한 다른 센서일 수 있다. 상기 측정들은 열 뇌졸중 또는 탈수와 같은 잠재적 위험의 다른 문제에 관해 경고를 제공하는데 유용하다.

[0071] 일 실시예에서, 제 1 및 제 2 전자 장치는 전자 소통을 서로 하고, 전자장치 사이에 전자 커패시턴스 또는 전자 레지스턴스를 변경시키는 기관 두께를 변화시킨다. 상기 방법으로, 압력 또는 힘은 내표면 및 외표면 상에 배열된 한 쌍의 전극 사이 커패시턴스를 측정함으로써 결정된다. 일 측면에서, 센서의 제 2 배열은 액추에이터의 제 1 어레이로 입력하는 전자 출력을 생성하고, 액추에이터의 제 1 어레이는 외부 표면에 과해 사용자에게 정보를 제공하는 사용자의 피부인 부속체 표면과 인터페이스한다. 상기 내용에서, “정보”는 센서에 의해 검출되는 특성을 의미하고, 따라서, 온도, pH, 수분 또는 화학적 또는 생물학적 물질과 같은 외부 표면에 고유한 표면 접촉 또는 성질에 의해 생성된 접촉 힘 또는 압력과 같은 물리적 성질일 수 있다.

[0072] 부속체 장착 가능한 전자 시스템의 예는 (i) 내표면 및 외표면을 가지는 탄성 중합체 기관; (ii) 내표면에 의해 지지되는 제 1 전자 장치; (iii) 외부 기관에 의해 지지되는 제 2 전자장치를 포함하고, 상기 내표면은 곡면을 갖는 부속체를 수용할 수 있는 봉합부를 한정하고, 상기 제 1 및 제 2 전자장치는 서로에 대해 반대 구성을 갖고 기능성 압력 센서를 형성하기 위해 탄성중합체 기관의 두께에 의해 분리되고, 기능성 압력 센서의 출력은 탄성 중합체 기관 두께의 함수로 다양하고, 제 1 및 제 2 전자장치의 각각은 1mm 미만 두께 및 5mm미만 측면치수를 가지는 박막형 전기적 전도성 물질을 포함하고, 탄성중합체 기관은 전극에 전력이 공급될 경우 커패시턴스의 출력을 위해 10mm 미만인 기본 두께(resting thickness)를 갖는다.

[0073] 다른 실시예에서, 부속체 장착가능한 전자 시스템은 내표면 및 외표면을 갖는 탄성중합체 기관; 상기 내표면에

의해 지지되는 제 1 전자 장치; 외부 기관에 의해 지지되는 제 2 전자 장치를 포함하고, 상기 내표면은 곡면을 갖는 부속체를 수용하는 봉합부를 한정하고, 상기 탄성 중합체 기관은 10mm 미만의 기본 두께를 갖고, 상기 제 1 및 제 2 전자장치는 서로에 대하여 반대 구성을 이루며, 압력 센서를 형성하기 위해 탄성중합체 기관의 두께에 의해 분리되고, 압력 센서의 출력은 탄성 중합체 기관 두께의 함수로 다양하다. 제 1 및 제 2 전자 장치의 각각은 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자 또는 1mm미만의 두께 및 5mm미만의 측면치수를 갖는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함한다.

[0074]

일 측면에서, 상기 시스템은 제 1 전극의 어레이의 각 부재를 전기적으로 연결하는 복수의 제 1 전기적 접속부 및 제 2 전극의 어레이의 각 부재를 전기적으로 연결하는 복수의 제 2 전기적 접속부 더 포함하고, 상기 전기적 접속부는 구부러진 모양의 구성을 갖는다. 전기적 접속부는 캡슐화층에 의해 독립적으로 캡슐화될 수 있다. 장벽층은 복수의 제 2 전기적 접속부로부터 복수의 제 1 전기적 접속부를 전기적으로 분리할 수 있다. 탄성중합체 기관에 인가된 압력은 한 상의 전극 사이의 기관 두께를 감서시켜, 커패시턴스(capacitance)를 증기시킨다. 다른 실시예는 상호 열 교환이 가능한 제 1 및 제 2 전자장치이고, 여기서, 상기 전자장치들 중 하나는 열공급원이고, 상기 전자장치는 온도를 측정하는 열감지기이고, 상기 열공급원과 상기 열감지기 사이의 탄성중합체 기관의 두께 변화는 상기 열감지기에 의해 측정된 온도를 변화시킨다.

[0075]

또한, 본 발명에서 논의되는 시스템은 "부속체 장착가능한 전자 시스템" 또는 "부속체 부합하는 시스템"을 의미하고, 내표면 및 외표면을 갖는 얇은 가용성 및/또는 신축성 기관을 포함할 수 있다. 예를 들어, 기관 내표면은 봉합부의 부속체와 관련된 표면을 덮고, 등각으로 접촉하여, 곡면(예를 들면, 부속체 표면)을 수용하기 위한 봉합부를 한정한다. 선택적으로, 기관은 10mm 미만 두께, 1mm 미만 두께, 500  $\mu\text{m}$  미만 두께 또는 100  $\mu\text{m}$  이상 및 1mm 이하 범위에서 선택된 두께의 관점에서 설명된다. 두께는 동작 조건 및 관련 적용을 기초로 선택될 수 있다. 예를 들면, 실질적인 표면 마모를 갖는 적용에 따라, 기관은 더 두꺼워질 수 있고/있거나, 더 높은 내구성 특성을 갖는다. 기능적 전자 장치는 탄성 기관 내표면 또는 탄성 기관 외표면에 의해 지지된다. 기능적 전자 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자와 같은 장치는 장치 소자를 포함한다. 임의의 상기 장치 소자들을 포함하는 기능적 전자 장치는 신축성 있고, 구부릴 수 있다. 임의의 상기 기능적 장치 소자를 포함하는 기능적 전자 소자는 10  $\mu\text{m}$  이하의 두께를 갖는다. 장치의 얇은 레이아웃 형상 및 탄성 중합체 기관의 성질은 물체 표면 및 전자 장치 사이 상화작용 관점에서 많은 기능적 이득을 제공하고, 또한, 상기 임의의 장치를 형성하기 위한 특정한 고유의 전자 인쇄 공정을 용이하게 한다.

[0076]

예를 들면, 봉합부의 3차원적 형태가 내부 부피를 한정하는 폐표면(closed surface)이라는 점에서, 기관의 내표면은 시각적 및/또는 물리적으로 접근할 수 있다. 특히 작다 경우, 이러한 봉합부는 봉합부 표면에 기능적 전자 장치를 놓기 어렵게 만들고, 접근하기 어렵게 한다. 상기 봉합부가 하나 또는 두 개의 개구부를 포함할지라도, 전자 인쇄에 봉합부를 열기 위해 사용될 수 있는 자유단(free end)을 갖는 열린 봉합부와 비교하여, 기능적 전자 장치의 전자 인쇄를 위해 쉽게 접근할 수 없다. 즉각적인 (instant) 발명의 탄성중합체 기관 성질은 특별히 구성된 외표면 상의 기능적 전자 장치가 뒤집혀서, 기능적 전자 장치가 봉합부를 한정하는 내표면 상에 있게 한다. 이는 특별하게 구성된 얇은 장치 소자 레이아웃 및 상응하는 얇은 기능적 전자 장치에 의해 달성되고, 장치 기능에 부정적인 영향을 주지 않고, 실질적으로 늘어나고, 구부러지고/지거나 접힐 수 있다. 따라서, 즉각적인 발명의 관점은 종래 전자 장치 전자 인쇄 공정에 물리적으로 접근할 수 없는 내표면에 관한 것이다. 이에 대해, 본 발명에서 논의된 어느 기관의 외표면은 내부로부터 떨어져 대향하고, 힘 없이 또는 최소한의 인가된 힘으로 시각적 및 물리적으로 접근할 수 있다. 예를 들면, 외표면은 기관을 늘리고 함입부를 제거하기 위해 상대적으로 똑바로 나가는(straight-forward) 최소한의 힘에 의해 물리적으로 접근 가능하게 되는 함입부(invagination)을 가질 수 있거나 원하는 지역에 대해 접힌다. 외표면에 대한 전자 인쇄 기능적 전자 장치 에레이 다음의 기관 표면 뒤집기는 기능적 전자 장치의 위치 및 극단적으로 제한된 내부 부피의 어레이 및 이외에 종래의 전자 인쇄 기술에 접근 가능하지 않은 봉합부를 용이하게 한다.

[0077]

일 실시예에서, 본 발명의 장치 및 방법의 일부로 임의의 기관은 내표면 또는 외표면에 의해 지지되는 기능적

전자장치의 기능성 파라미터의 실질적인 감소없이, 상호적으로 뒤집을 수 있는 내표면 및 외표면을 갖는다. 일 실시예에서, 이는 표면이 기능적 전자 장치를 지지하는데 문제되지 않으며, 기관 표면은 쉽게 뒤집어져서, 전자 장치에 대항하는 외부는 기관 표면을 뒤집어서 내부로 뒤집어 질 수 있다. 유사하게, 전자 장치에 대항하는 내부는 기관 표면을 뒤집어서 외부로 뒤집어 질 수 있다. 따라서, 일 측면에서, 탄성 중합체 기관 물질 및 부착된 기능적 전자 장치는 기관 무결성 또는 장치 기능성에 부정적인 영향을 끼치지 않으며, 뒤집히기 위한 적절한 물리적 성질을 갖기 위해 선택된다. 예를 들면, 물질은 1MPa 미만, 500kPa미만, 100kPa미만, 또는 10 kPa 이상 및 200 kPa 이상 범위에서 선택된 값과 같은 상대적으로 낮은 계수(modulus)를 가질 수 있다. 유사하게, 기관은 상대적으로 높은 파단 변형을 가질 수 있다. 예를 들어, 파단 변형은 약 200%, 500%, 800% 이상이거나, 400%이상 및 1200%이하 범위에서 선택된다. 일 측면에서, 사용자의 피부와 상호작용을 위해 포함하는 기관은 Ecoflex<sup>®</sup> 실리콘(쇼어(Shor) 00-30 경도((Smooth-On사.))와 같은 실리콘 물질일 수 있다.

[0078]

일 측면에서, 본 발명에서 제공되는 임의의 전자장치는 기능적 전자장치의 어레이를 포함한다. 일 실시예에서, 기능적 전자 장치는 센서 액츄에이터 또는 센서 및 액츄에이터 모두일 수 있다. 예를 들면, 센서는 센서 작동, 속도, 가속도 와 같은 전자적 장치와 관련된 물리적 파라미터, 또는 전자적 장치가 압력, 힘, 온도, 전위, 전도성, 수분, 습기, 전자기 방사선 등, 또는 센서가 측정할 수 있는 임의의 파라미터를 물리적으로 접촉하는 표면과 연관된 물리적 파라미터에 관한 정보를 제공할 수 있다. 이에 대해 액츄에이터는 표면에 신호 또는 자극을 제공하도록 기능한다. 선택적으로, 복수의 액츄에이터는 복수의 센서에 의해 제어될 수 있다. 상기 복수의 센서는 내표면 상의 액츄에이터 및 외표면 또는 다른 기관의 외표면 둘 중 하나 상의 센서일 수 있다. 상기 방법으로, 가상 현실 시스템은 본 발명의 임의의 장치로 덮어진 표면을 갖는 원격 제어 기계 또는 로봇장치에 의해 다른 표면이 “느끼는” 것을 “느끼는” 사용자가 표면을 실제로 만지지 않고, 같은 부류처럼 제공된다. 또한, 장갑(glove)와 같은 다중 기능 장치는 사용자 피부와 등각접촉에서 내표면 상 자극기로 전달되는 파라미터를 감지하는 외표면 상에 센서를 가질 수 있다. 상기 방법으로, 장갑 외부의 조건에 관한 정보는 내표면 상의 자극기를 통해 사용자에게 의해 검출된다.

[0079]

장치 기능성을 희생하지 않으며, 성형된 표면, 매우 불규칙한 형태조차 수용하는 기관 표면을 뒤집고/거나 늘리는 능력을 갖는 한 방법은 전자 레이아웃 및 형상을 특별히 구성하고 패키징함으로써, 파단에 매우 영향받기 쉬운 단단한 물질은 높은 응력으로부터 차단된다. 예를 들면, 가요성 및 신축성 접속부는 기능성 전자 장치로 통합될 수 있고, 굽고 휘어지는 응력을 수용하기 위해 위치되고, 이로써, 과도하게 높은 응력으로부터 단단한 또는 부서지기 쉬운 물질을 차단한다. 접속부는 고정 장치 아일랜드로 구성될 수 있는 다중 기능적 전자장치를 포함하는 기능적 전자 장치와 전기적으로 연결된다. 일 실시예에서, 가요성 및 신축성 전자 접속부는 휘어지는 구성의 전기 전도성 물질을 포함한다. 휘는 구성의 예로는 물결 형상(예를 들어, 미국 특허 제 7,622,367호(38-04A)참조), 버클(buckle) 형상(예를 들면, 미국 특허 제 8,217,381호 (134-06) 참조) 및/또는 굽은 모양의 구성(예를 들면 미국 공개 특허 2010/0002402 (213-07); PCT 특허 W02011/084450 (126-09W0); 미국 공개 특허 2013/0041235 (29-11) 참조)를 포함한다.

[0080]

선택적으로 접속부는 굽은 모양의 구성의 나노와이어를 포함한다. 높은 가요성 및 굴곡성은 접속부가 연결하는 더 단단한 소자에 관해 작은 접속부 단면 치수를 제공하여 특별히 이루어진다. 예를 들면, 나노와이어는 50 nm 이상 및 1 $\mu$ m이하의 범위에서 선택된 두께, 및 1 $\mu$ m이상 및 1 mm이하의 범위에서 선택된 폭을 갖는 직사각형 단면을 가질 수 있다. 일 측면에서, 굽은 모양의 구성은 100  $\mu$ m 이상 및 10 mm 이하의 범위에서 선택된 평균 곡률 반경에 의해 특성을 나타낸다.

[0081]

일 측면에서, 전자 장치는 전기 절연성 탄성 중합체 층인 장벽층에 의해 분리된 인접한 접속부 층을 갖는 적어도 두 개의 접속부 층에 배열된 복수의 접속부를 포함하고, 이로써, 상부 접속부와 컴팩트 와이어링을 제공한다.

[0082]

실시예에서, 전기적 접속부는 특히 이점을 갖는다. 상기 기능성 전자 장치는 상대적으로 단단하고, 얇은 층과



같은 반도체 소자를 포함하는 상대적으로 부서지기 쉬운 소자로부터 형성된다. 일 측면에서, 기능적 전자 장치는 적어도 하나의 접속부와 전기적으로 연결되는 고정 장치 아일랜드를 포함한다. 일 측면에서, 구부러진 구성의 접속부는 얇은 탄성중합체 기판이 구부러지고 늘어나는 것으로부터 응력을 수용하고, 이로써, 인가된 응력으로부터 고정 장치 아일랜드를 분리한다. 일 측면에서, 구부러지고 늘어난 응력은 얇은 탄성중합체 기판의 내표면 및 외표면을 뒤집는 것으로부터 존재한다.

[0083] 본 발명의 임의의 전자 장치는 기능적 저자 장치의 총 개수에 의해 특성을 갖는 기능적 전자 장치의 어레이를 포함할 수 있다. 상기 개수는 2이상 및 1000 이하의 범위에서 선택된다. 일 측면에서, 상기 개수는 4 내지 100이다. 일 측면에서 상기 개수는 4 내지 20이다. 일 측면에서 본 발명의 임의의 어레이는 족적 영역의 관점에서 더 한정되고, 상기 족적 영역은 어레이에 의해 덮여지는 표면 영역이고, 어레이 내의 개별 장치의 가장 바깥 부분으로 한정될 수 있다. 따라서, 전자 장치 및 족적 영역의 개수를 기초로, 공간적 영역이 결정된다. 미세 공간 해상도를 요구하는 적용을 위해,  $\text{mm}^2$  당 1 내지 10 개가 존재할 수 있다. 미세 공간 해상도가 필수적인이 않는 다른 적용을 위해, 장치는  $\text{mm}^2$  당 1 내지 10 장치와 같이, 더 드물게 분산될 수 있다.

[0084] 일 측면에서, 기능성 전자 장치는 곡면과 인터페이싱(interfacing)하기 위해 다중 어레이의 전기 촉각 자극기를 포함하고, 상기 곡면이 생체 조직에 상응한다.

[0085] 일 실시예에서, 본 발명의 임의의 전자 장치는 계측용 장갑 또는 수술용 의료 장갑과 같은 인간 기계 인터페이스의 일부이다. 전자 장치는 표면에 대하여 가해진 힘 또는 압력을 측정하기 위한 힘 또는 압력 센서의 어레이를 포함하는 다른 적용에 쉽게 사용된다. 상기 적용은 표면에 가해지는 힘 등의 매우 정확한 이해를 제공할 수 있고, 임계값이 초과되는 경우, 이에 따른 경고나 알람을 제공할 수 있다. 예를 들면, 이는 임의의 생물학적 표면 상에서 발생할 수 있다.

[0086] 일 측면에서, 무기 반도체 소자 및/또는 금속 도체 소자는 독립적으로  $1\ \mu\text{m}$  이하의 두께를 가지는 하나 이상의 박막 구조를 포함한다.

[0087]

[0088] 일 실시예에서, 전자 장치는 하나 이상의 무기 반도체 소자를 포함하고, 상기 무기 반도체 소자는 독립적으로 나노멤브레인 구조, 다결정 반도체 물질, 단결정 반도체 물질 또는 도핑된 다결정 또는 단결정 반도체 물질을 포함한다.

[0089] 일 측면에서, 장치는 중성역학층(NMP)를 포함하고, 상기 NMP는 나노멤브레인인 무기 반도체 소자와 같은 장치 내에 무기 반도체 소자 위치에 상응하는 깊이에 위치된다. 예를 들어, 상기 NMP위치는 스트레스(stress)를 곱히고 신장하는 쪽으로 장치의 허용치를 더 돕고, 기판 내표면 및 외표면을 뒤집는 동안 발생한다.

[0090] 일 측면에서, 장치는 곡선 형상을 갖는 전기적 접속부인 하나 이상의 금속성 도체 소자를 포함한다. 상기 곡선 형상은 적어도 부분적으로 자립형일 수 있다. 곡선 형상은 평면에서, 평면과 떨어져서, 또는 이들의 조합 중 하나를 곱히는 굽은 모양의 구성을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 전기적 접속부는 고정 장치 아일랜드와 전기적으로 연결한다. 일 측면에서 고정 장치 아일랜드는 실리콘 나노멤브레인과 같은 무기 반도체 소자를 포함한다.

[0091] 일 측면에서, 고정 장치 아일랜드는 물리적 파단에 부서지기 쉽고 취약한 다양한 부분으로 인하여 변형에 민감한 경향이 있는 센서 또는 액츄에이터 소자에 해당한다. 일 측면에서, 센서 또는 액츄에이터는 전기 촉각 장치, 동작 센서, 압력 센서, 압력 액츄에이터, 열 센서, 열 공급원, 또는 이들의 조합이고, 상기 구성은 메쉬 형상으로 설명될 수 있다. 곡선 접속부는 고정 장치 아일랜드에 의해 내약성(well-tolerated) 없는 응력을 수용하도록

록 구성된다.

- [0092] 설명한 바와 같이, 기관이 뒤집힐 수 있는 실시예에서 특히, 기능적 전자 장치는 기관 외표면 또는 기관 내표면에 의해 지지될 수 있다. 일 측면에서, 기능적 전자 장치를 지지하는 외표면은 뒤집어져, 그 결과, 외표면에 의해 지지되는 기능적 전자 장치를 뒤집어, 내표면에 의해 지지되는 기능적 전자 장치가 된다. 일 측면에서, 내표면에 기능적 전자 장치의 적어도 90%를 뒤집은 후에, 내부 대향면 형상에 대향하는 외표면으로부터 뒤집은 후 기능을 유지한다. 상기 방법으로, 내표면에 의해 한정된 봉합부는 원래 외표면이었던 기관 표면에 실제로 대응한다.
- [0093] 일 실시예에서, 예를 들면, 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 인쇄가능한 구조이다. 일 실시예에서, 예를 들면, 하나의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 전사 인쇄를 통해 상기 가요성 또는 신축성 기관 상에 조립된다. 일 실시예에서, 예를 들면, 하나 이상의 센서, 액추에이터 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 마이크로전사 인쇄, 점점 전사 인쇄, 용액 기반 인쇄, 소프트 리소그래피 인쇄, 복사 조형 또는 임프린트 리소그래피를 통해 상기 가요성 또는 신축성 기관 상에 조립된다.
- [0094] 일 실시예에서, 얇은 탄성중합체 기관 내표면은 봉합부 또는 곡선 표면을 수용하고 덮기 위한 적어도 하나의 개구부를 갖는 내부 부피를 한정한다. 일 측면에서, 봉합부 내에 덮히고 포함되는 표면은 부속체, 손가락, 팔 부분, 다리 부분, 머리 부분 또는 몸통 부분과 같은 살아있는 동물의 일부를 대상으로 한다.
- [0095] 일 실시예에서, 곡선 표면을 수용하기 위한 봉합부 및 기관을 한정하는 얇은 탄성중합체 기관 내표면은 자체 생성된 접착력, 곡선 표면 하에서 등각으로 접촉하고 수용하고 받기 위한 물리적 성질을 갖는다. 일 측면에서, 물리적 성질은 500 kPa 이하인 기관 영률 및 500% 이상인 기관 파단 변형에 대응한다. 기능적으로, 이는 매우 불규칙하게 형성된 표면조차 등각으로 접촉할 수 있게 하고, 구조적 무결성에 부정적 영향없이 표면 뒤집기를 진행할 수 있다.
- [0096] 일 측면에서, 봉합부는 곡선 표면의 상응하는 치수보다 작은 수용 치수를 갖고, 여기서, 사용 동안 얇은 탄성중합체 기관의 변형은 기능적 전자 장치에 부정적인 영향을 주지 않으면서 봉합부 내에 수용 표면을 수용하는 수용치수를 증가시킨다. 따라서, 사용 동안 손가락은 탄성중합체 기관을 늘리고, 이로써, 손가락 표면 및 기관 사이 반경 방향의 접촉을 형성한다. 상기 방법으로, 변형은 기관 내표면 상의 장치 소자 및 곡선 표면 사이 친밀하고 등각인 접촉을 생성하고 유지하기 위해 봉합부 내에서 얇은 탄성 중합체 기관 및 곡선 표면 사이 친밀한 접착력을 생성한다.
- [0097] 기관의 변형의 양은 기관, 따라서 내부 기관 표면 상의 임의의 기능적 장치 및 봉합부 내의 표면 사이 접착력의 양을 제어하기 위해 다양할 수 있다. 더 큰 접착력이 요구되는 적용을 위해, 봉합부의 특징적인 치수는 수용되는 물체의 크기에 따라 상응하여 감소된다. 예를 들면, 봉합부 부피는 봉합의 치수의 감소로 감소된다. 일 측면에서, 사용 중인 전자 장치는 1% 이상 및 100% 이하의 범위에서 선택되는 변형을 갖는다. 물론, 탄성 중합체 기관과 매우 가요성 있고 신축성 있는 전자장치의 큰 파단 변형으로 인하여, 가요성 및 신축성 접속부와 레이아웃 형상의 사용에 의해, 본 발명은 원하는 높은 변형 및 응력을 수용할 수 있다.
- [0098] 전자 장치는 내부 부분의 길이, 폭 깊이 및/또는 체적을 포함하는 봉합부(또한, 상호교환적으로 사용되고 언급된 내부 또는 내부 체적)의 관점에서 더 설명될 수 있다. 예를 들면, 봉합부는 5mm 내지 30cm 의 평균 직경 및/또는 5mm s내지 30cm 의 평균 길이를 갖고, 원통형으로 형성될 수 있다. 일 측면에서, 봉합부는  $1\text{cm}^2$  이상 및  $10,000\text{cm}^3$  이하인 체적을 갖는다.

- [0099] 일 측면에서, 전자 장치는 약  $1\text{mm}^{-2}$  (고밀도 범위) 및  $1\text{cm}^{-2}$  (저밀도 범위) 사이의 범위에서 선택된 전자 장치 공간 밀도를 갖는 전자장치의 어레이이다.
- [0100] 일 측면에서, 봉합부는 실질적으로 원통형 또는 부분적으로 구형 또는 반구형을 갖는다. 상기 원통형은 손가락 끝을 덮는 것과 같이, 하나의 끝을 선택적으로 덮는다. 따라서, 임의의 전자장치는 손가락 또는 손가락 끝을 수용하도록 형성된 내부 위치를 포함할 수 있다. 또한, 원통형은 끝 두부분이 개방되는 튜브일 수 있다.
- [0101] 일 측면에서, 봉합부는 부분적으로 폐쇄된 체적이어서, 곡면은 내부에 곡면을 형성하여 덮는다. 반대로, 열린 체적은 기관의 다른 부분과 연속적으로 연결되지 않도록 자유롭게 이동하는 적어도 하나의 단부를 갖는 봉합부에 관한 것이다. 상기 방법에서, 열린 체적은 곡면 주변 내표면을 감싸고, 내부 부분을 형성하는 기관의 느슨한 단부를 고정하는 단계에 상응할 수 있다. 이는 기관의 자체 생성된 힘 하에서, 표면 커버 및 등각 접촉을 보장하는 길이 방향의 장력 하에 곡면 주변의 얇은 탄성 중합체 기관을 감싸여 달성될 수 있다. 또한, 얇은 탄성 중합체 기관은 생체 표면을 더 수용하여 열리기 위해 부분적으로 폐쇄된 체적의 개방을 강화함으로써, 원주 방향 장력하에서 생체 표면에 대해 굴러질 수 있다.
- [0102] 일 실시예에서, 본 발명의 임의의 전자 장치는 다기능적이다. 다기능은 전기 촉각 자극기 및 센서 장치와 같은 다른 기능을 제공하는 기능적 전자 장치의 적어도 두 개의 다른 형태를 의미한다. 일 측면에서, 내표면은 기능적 전자장치의 제1 어레이를 지지하고, 외표면은 기능적 전자 장치의 제 2 어레이를 지지하고, 제 1 어레이는 제 2 어레이와 다른 기능을 갖는다. 예를 들면, 제 1 어레이는 제 1 어레이의 전자 장치와 등각접촉하는 생물 피부와 인터페이스하기 위한 전기 촉각 자극기를 포함할 수 있고, 제 2 어레이는 제2 어레이의 전자장치 및 외표면 사이 촉각 상호작용으로부터 물리적 파라미터를 측정하기 위한 센서를 포함할 수 있다. 센서의 예는 압전 저항, 압전, 용량 및 탄소성 저항 센서등과 같은 변형계이지 센서 및 촉각센서를 포함한다.
- [0103] 일 측면에서, 전기촉각 자극기의 제 1 어레이는 손가락을 덮는 기관의 외부 및 내부 상에 센서 및 자극기와 같은 센서의 제 2 어레이에 의해 측정된 물리적 파라미터에 따라 살아있는 동물의 피부와 상호작용한다.
- [0104] 일 실시예에서, 기능적 전자 장치의 어레이는 어레이의 가장 바깥쪽 부재에 의해 한정되는 족적 표면적을 갖는다. 장치를 형성하는 방법은 관심있는 적용에 따라, 다양한 족적 표면적과 호환할 수 있다. 예를 들면, 족적 표면적은  $0.5\text{ cm}^2$  이상 및  $100\text{cm}^2$  이하의 범위에서 선택된다.
- [0105] 일 실시예에서, 기능적 전자 장치의 어레이는 생체 조직과 상호작용하는 전기 촉각 자극기의 다중화된 어레이를 포함한다. 일 측면에서, 기능적 전자 장치의 어레이는 전위와 같은 전자 파라미터 감지 및/ 또는 전자 파라미터의 적용을 위한 전극의 어레이를 포함한다. 일 실시예에서, 각 전극은  $1\text{mm}$  미만의 직경을 갖는 내부 디스크 및 내부 디스크를 둘러싸는 외부 링을 포함하고, 상기 내부 디스크 및 외부 링은  $100\text{ }\mu\text{m}$  이상 및  $500\text{ }\mu\text{m}$  이하의 범위에서 선택된 내부 디스크 및 외부 링 사이 분리 거리를 가지며, 서로에 대하여 집중적으로 위치된다. 일 측면에서, 전극의 두께는 수백 나노미터(예를 들면,  $100\text{nm}$  내지  $900\text{nm}$ ) 정도 상과 같은  $1\text{ }\mu\text{m}$  미만이다. 일 측면에서, 임의의 반도체 소자는  $1\text{ }\mu\text{m}$  미만 또는 수 백 나노미터(예를 들면,  $100\text{nm}$  내지  $900\text{nm}$ ) 정도인 두께를 갖는 다이오드인 전자 장치의 일부인 실리콘 나노멤브레인을 포함한다. 상기 다이오드 및 전극은 특히, 많은 기능적 전자 장치를 포함하는 어레이를 위해 장치 제어 및 출력 처리를 용이하게 하는 다중화된 회로의 일부를 포함할 수 있다.
- [0106] 다른 실시예에서, 본 발명은 상기 기재된 임의의 장치를 제조하는 방법이다. 일 측면에서, 내부 대향면 및 외부 대향면을 갖는 탄성중합체 기관을 제공하여 곡면을 덮고 인터페이스하는 전자 장치를 제조하는 방법이



제공된다. 기능적 전자 장치 어레이와 같은 기능적 전자 장치는 탄성중합체 외부 대향면에 전사 인쇄된다. 탄성 중합체 기관은 뒤집어져, 외부 대향면이 내부 대향면이 된 후, 내부 대향면이 외부대향면이 되고, 이로써, 내부 대향면 상에 장치 소자의 어레이를 제공하고, 기능적 전자 장치의 어레이를 뒤집은 후 기능을 유지한다. 기능을 유지하는 것은 적어도 90%, 적어도 95%를 의미하거나, 모든 기능적 전자 장치는 뒤집은 후 기능을 유지한다. 원하는 기능 수준은 본 발명의 하나 이상의 임의의 장치 형상을 통합하고, 초박형 장치 및 장치 소자(예를 들면, 1  $\mu\text{m}$  미만), 구부러진 형상을 포함하는 가요성 및 신축성 접속부, 및 중성 역학층(NMP) 레이아웃을 이용하여 포함하여 달성된다. 또한, 임의의 하나 이상의 장치 레이아웃 및 형상은 표면을 뒤집기와 관련된 응력 후 조차 견고한 장치를 달성하기 위해 게재된 하나 이상의 임의의 방법으로 통합될 수 있다.

[0107]

일 측면에서, 내부 대향면은 곡면을 수용하고 덮고 인터페이스 하기 위한 내부 체적 또는 부분을 한정한다. 일 측면에서, 탄성중합체 기관의 봉합부는 곡면 또는 곡면의 몰드에 대해 탄성 중합체 전구체를 주조하고, 내부 대향면 및 외부 대향면을 갖는 탄성중합체 기관을 얻기 위해 탄성 중합체 전구체를 경화하여 얻어진다. 이러한 방식으로, 기관은 상기 시스템에서 사용되는 특정 곡면에 맞출 수 있다. 특히, 곡면에 대응하는 나머지 표면 곡률을 갖는 탄성중합체 기관이 생성될 수 있다. 선택적으로, 그 결과 생긴 곡면은 수용될 곡면을 갖는 물체의 상응하는 치수보다 약간 작은 내부 체적 치수를 갖는다. 예를 들면, 표면의 몰드는 대응하여 크기면에서 약간 감소된다. 이는 수용될 곡면을 수용하는 탄성중합체 기관의 변형에 의해 생성된 자체 생성 접착력이 있도록 하기 위한 하나의 방법이다. 일 측면에서, 몰드 크기는 1% 이상 및 100% 이하, 또는 약 1% 및 20% 사이의 범위에서 선택된 탄성중합체 기관의 변형을 만들기 위해 선택된다. 또한, 나머지 기관 곡률은 압출과 같은 종래의 다른 공정에 의해 형성될 수 있다.

[0108]

일 측면에서, 전사 인쇄는 전사 인쇄(예를 들면, 미국 특허 7,943,491 (41-06); 7,799,699 (43-06); 7,932,123 (151-06); 8,217,381 (134-06); 8,198,621 (38-04D), 7,622,367 (38-04A) 참조, 모두는 구체적인 참고로 인용됨)에 의해서와 같이, 탄성 중합체 기관의 외표면에 전사 스템프로부터 기능적 전자 장치 어레이를 전사하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 특히, 곡면을 갖는 탄성 중합체 기관에 대해, 전사 인쇄는 평평한 형상에서 탄성중합체 기관을 평평하게 하는 단계, 평평한 형상의 탄성중합체 기관에 기능적 전자 장치의 어레이를 전사하는 단계를 더 포함한다. 전사 후, 탄성중합체 기관은 곡면 형상으로 다시 휴식하도록 릴리스될 수 있다. 다른 측면에서, 전사 인쇄는 곡면 형상의 상기 탄성중합체 기관의 외표면 상에 전사 스템프를 굴리는 단계를 포함한다.

[0109]

일 측면에서, 내부 부피 또는 부분에서 수신되기 위한 곡면은 손가락 또는 손가락 끝 표면 형태에 상응하는 표면형태를 갖는다.

[0110]

일 측면에서, 전자 장치는 손가락 또는 손가락 끝의 장갑으로 통합된다. 일 측면에서, 기능적 전자 장치는 센서, 액츄에이터, 또는 센서 및 액츄에이터의 어레이를 포함한다.

[0111]

일 실시예에서, 기능적 전자 장치는 메쉬 구조로 전기 촉각 전극의 어레이를 포함한다. 여기서, 상기 전기적 접속부는 전기 촉각 전극과 전기적으로 연결된다.

[0112]

일 측면에서, 본 발명은 물체의 표면과 인터페이스하는 방법과 같이, 임의의 장치를 이용하는 방법이다. 일 실시예에서, 방법은 봉합부 및 외부 대향면을 한정하는 내부 대향면을 갖는 얇은 탄성중합체 기관을 제공하는 단계를 포함한다. 기능적 전자 장치는 내부 대향면 또는 외부 대향면 상에 지지된다. 기능적 전자 장치는 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자인 장치 소자를 포함한다. 기능적 전자 장치는 10  $\mu\text{m}$  이하의 두께를 가지며, 늘어나고 구부러질 수 있다. 기능성 전자 장치를 지지하는 표면은 물체의 물체 표면과 기능성 전자 장치를 인터페이스 하기 위해 물체 표면과 물리적으로 연결된다. 일 측면에서, 봉합부는 기관에 물리적 지지를 제공하기 위해 물체 및 교환 표면을 수용한다. 일 측면에서, 상기 방법은 봉합부 내에 수용되는 물체 및 곡면을 수용하기 위해 봉합부의 체적을 연

장하는 단계에 관한 것이다.

- [0113] 내부 기관 표면에 대한 장치를 위해, 방법은 인터페이스를 위한 봉합부에 물체의 표면을 도입하는 단계를 더 포함한다. 예를 들면, 물체는 생물의 일부일 수 있고, 물체 표면은 피부 또는 표피층과 상응한다. 기능적 전자 장치는 센서, 액추에이터 또는 센서 및 액추에이터 모두를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 장치는 전기촉각 자극기를 기초로 피부 또는 표피층에서 신경을 자극하기 위해 전기촉각 자극기의 어레이를 포함한다.
- [0114] 또한, 외부 대향면에 의해 지지되는 기능적 전자 장치에 대해, 물리적으로 접촉하는 단계는 외부 대향면에 대해 기관 봉합부에 외부인 물체의 표면을 도입하는 단계를 포함한다. 일 측면에서, 외표면 상의 기능적 전자 장치는 촉감을 측정하는 센서를 포함하여 외부에 위치한 물체 표면과 인터페이스한다. 일 측면에서, 상기 방법은 탄성 중합체 기관을 물리적으로 지지하는 내부 부분으로 지지 물체를 삽입하는 단계를 더 포함한다. 예를 들면, 원격으로 제어되는 물체 또는 로봇처럼 제어되는 장치의 일부는 지지 물체를 원격 감지할 수 있다. 일 측면에서, 기능적 전자 장치는 온도, 전도성, 견고성, 탄력성 또는 관심있는 적용에 따른 파라미터와 같은 물체 표면의 물리적 파라미터를 측정하기 위한 센서의 어레이를 포함할 수 있다.
- [0115] 일 실시예에서, 제 1 기능적 전자 장치는 내부 대향면에 의해 지지되고, 제 2 기능적 전자 장치는 외부 대향면에 의해 지지되고, 물리적으로 접촉하는 단계는 내부 부분에 제 1 물체의 표면 및 외표면에 제 2 물체의 표면을 도입하는 단계를 포함한다. 예를 들면, 제 1 물체는 살아있는 인간의 부속체에 대응할 수 있고, 제 1 기능적 전자 장치는 부속체 상부의 조직과 인터페이스하는 전기 촉각 자극기의 어레이의 일부이다. 부속체는 손가락 또는 손가락끝일 수 있고, 전기 촉각 자극은 제 2 물체 표면을 갖는 외표면 상에서 지지되는 제 2 기능적 전자 장치의 상호작용에 따라 제공된다. 수술용 강압의 경우에, 제 2 물체 표면은 생체 조직과 같은 환자의 일부일 수 있다.
- [0116] 본 발명에서 제공되는 어느 장치 및 공정은 손가락, 손가락끝 또는 본 발명에 기재된 임의의 다른 부분을 포함하는 인간의 신체 일부분을 수용하는 봉합부에 관한 것일 수 있다.
- [0117] 표피층 또는 피부층을 포함하는 사용자의 생체 표면에 대해 확인하도록 구성된 전자 장치는 본 발명에서 제공된다. 일 실시예에서, 생체 표면은 부속체에 상응한다. 일 실시예에서, 생체 표면은 손가락 또는 손가락 끝을 포함하는 다수의 손가락이다. 일 실시예에서, 생체 표면은 표피 또는 피부를 포함하는 인간 신체의 일부이다. 특히 장치는 이동 및/또는 변형되는 사용자 표면을 포함하는 사용자 표면의 형상 부분에 장착하는데 유용하다. 본 발명의 일 측면은 전자 장치는 가용성, 변형성 및/또는 굴곡성 기관 상에 제공되는 것이고, 사용자에게 대략적으로 장착되는 경우, 전자 장치가 관심 있는 적용에 따라 원하는 대로, 수분 내지 수시간 또는 여러 날들의 범위에서, 긴 시간 주기에 걸쳐 잘 유지되고 내구성 있는 접촉을 갖는 사용자 표면과 알맞은 접촉 상태에 있도록 자체 생성된 힘을 제공한다.
- [0118] 일 실시예에서, 전자 장치는 생체 표면 곡률에 부합되는 3차원 곡률을 갖는 기관을 포함한다. “3차원 곡률”은 표면이 (x, y, z) 좌표에 의해 정의되고, 변환되는 것을 의미한다. 곡률은 기관 표면과 생체 표면 사이에 실질적인 상응성이 있는 경우, 특히 소자의 어레이를 지지하는 표면을 수용하는 기관의 부분에 대하여 생체 표면에 “부합됨”이 고려된다. 상기 실시예에서, 기관의 수용 표면 및 소자의 어레이는 생체 표면을 갖는 등각접촉을 포함하는 물리적 접촉일 수 있다. 내부 대향 방향 중심일 경우, 기관 수용 표면은 손가락, 부속체, 또는 다른 사용자의 접근가능한 부분과 같은 생체 표면을 수용하도록 구성된 내부 체적을 갖는 봉합부를 한정한다.
- [0119] 사용자 신체 부분을 수용하는 봉합부 및 내부 체적을 제공하는 장치 구성의 기능적 이득은 생체 표면 및 어레이의 소자 사이 친밀한 접촉을 확실하게 하기 위해, 장치 기관이 자체 생성된 힘을 제공할 수 있다는 것이다. 일 측면에서, 자체 생성된 힘은 접촉 소자 또는 외부 힘 생성의 요구 없이 충분하고, 이러한 소자의 부재는 등각접

촉을 쉽게 생성하고 유지하는 능력에 영향을 주지 않는다.

- [0120] 장치 기관으로부터 자체 생성된 힘은 소자의 어레이 내에 개별 소자에 관하여 일반적인 방향으로 인간된 물리적 힘일 수 있다. 힘은 소자가 상기 힘 방향으로부터 산출될 수 있도록 개별 소자를 위해 일반적인 힘을 생체 표면에 대하여 다양할 수 있는 방향 및 크기를 갖는 다수의 방향으로 인가된다. 상기 일반적인 힘은 다양한 실시예에 의해 생성될 수 있다. 일 실시예에서, 전자 장치는 장력하에서 생체 표면을 감싸고, 이로써, 원하는 힘을 제공한다. 또한, 전자 장치는 3차원 공간의 각가에 대해 공간적으로 다양한 곡면의 범위에 걸쳐, 장치와 기본적인 생체 표면 사이 등각접촉을 확실하게 하는 일반적 힘을 제공하는 효과적인 원주 방향 장력으로 표면에 대하여 굴러질 수 있다.
- [0121] 장치의 구성은 피부, 손가락 또는 신체의 다른 영역의 적용 동안, 장치가 실질적인 응력을 경험하는 경우 어레이 내의 대부분의 소자는 기능을 유지하도록 한다. 일 측면에서, 적어도 70%, 90%, 95% 또는 모든 소자 또는 기능적 전자 장치는 생물학적 표면에 적용 후 기능을 유지하고, 소자의 어레이를 보장하기 위해 표면 방향의 조작에 의해 포함하여, 내부 대향하고, 피부와 물리적 및/또는 등각접촉을 위해 위치된다.
- [0122] 일 측면에서, 장치 내부 체적은 외부 대향에서 내부 대향 구성으로 수용면에 의해 지지되는 소자의 어레이를 뒤집어 형성된다. 특히, 일 측면은 소자의 어레이가 물리적으로 접근 가능한 표면, 예를 들어, 외부 대향면에 전사 인쇄되는 장치와 관련 있다. 상기 외부 대향면은 기관을 뒤집어 등각접촉을 제공하도록 적절히 구성되어, 미리 위치된 외부 면이 내부 대향면에 상응한다.
- [0123] 일 측면에서, 기관은 개방형 튜브 체적을 형성하고, 기관은 두 개의 개방형 단부를 가지며, 개방형 단부들 사이 생체 표면을 갖는 등각접촉이 존재한다. 상기 구성은 손가락 슬리브(예를 들면, 장갑 이하 손가락 끝), 팔 밴드, 다리 밴드 또는 이마 밴드처럼 덮지 않는 부속체 말단의 일부를 갖는 부속체에 미끄러지고, 그것들을 감싸는 장치에 관한 것이다. 일 측면에서, 내부 체적은 물리적 말단 표면을 갖지 않지만, 대신에 기관 모서리에 의해 한정된 단부를 갖는다. 또한, 기관은 장갑의 손가락 끝 부분에 의해 한정된 손가락과 같이, 부분적으로 폐쇄 체적을 형성한다. 다른 실시예에서, 내부 체적은 깊이 및 직경에 의해 한정될 수 있고, 또한, 특성은 복잡화된(예를 들면, 비실린더형) 기관 형태에 대한 전체 기관에 걸쳐 평균화하는 것을 포함하여 길이 및 직경에 의해 측정된다.
- [0124] 장치는 126-09, 29-11P, 134-06, 3-11, 7-11, 150-11, 38-04C, 38-04D 및 하기 제공된 임의의 다른 것에 개시된 바와 같이, 센서, 효과기, 액추에이터 또는 회소 소자의 임의의 수 또는 종류를 갖는 원하는 적용에 따라 호환할 수 있고, 공개된바와 같이, 제조 및 이용하는 물질, 소자, 구성 및 방법을 참조하여 명시적으로 통합된다.
- [0125] 일 측면에서, 장치는 치수, 소자 개수 및 밀도를 포함하는 어레이 특성, 및 족절 표면적을 포함하는 하나 이상의 관련된 임의의 파라미터에 의해 특성을 더 갖는다. 족절 표면적은 소자의 어레이와 등각접촉으로 생체 표면의 상응하는 영역 및 어레이의 커버리지 영역에 관한 것이다. 장치는 상대적으로 작은 경우(예를 들면,  $0.5 \text{ cm}^2$ ) 내지 상대적으로 큰 경우(예를 들면,  $100 \text{ cm}^2$  또는 그 이상)에 범위인 임의의 크기 영역에 걸친 구성에 매우 적합하다.
- [0126] 또한, 본 발명의 임의의 장치를 이용하고 제조하기 위한 관련된 방법이 제공된다. 장치의 다양한 물리적 특성은 기능적 이득을 달성하는 장치를 공간적으로 조작하는 능력을 제공한다. 예를 들면, 기관은 임의의 원하는 표면 및 전달된 전기적으로 활성 물질에 형성될 수 있다. 일반적으로 외부 대향면이 내부 대향면보다 더 접근하기 쉬기 때문에, 전사 인쇄에 대하여, 기관의 외표면은 전기적으로 활성 물질의 표면을 수용하도록 구성된다. 기관의 변형성은 외부로 대향하는 구성에서 내부로 대향하는 구성으로 수용 표면을 뒤집는 능력을 제공하고, 이로써, 장치가 생체 표면에 장착되거나 인가되는 경우, 생체 표면을 갖는 전기적 활성 물질 사이 친밀한 접촉을 용이하

게 한다.

[0127]

일 측면에서, 본 발명은 부속체에 장착가능한 전자 시스템 제조 방법을 제공하고, 상기 방법은 (i) 기본 봉합부를 한정하는 초기 내부를 향하는 표면 및 초기 외부를 향하는 표면을 갖는 가요성 또는 신축성 기관을 제공하는 단계; (ii) 하나 이상의 센서, 액추에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자장치를 상기 가요성 또는 신축성 기관의 상기 초기 외부를 향하는 표면에 전사 인쇄하되, 상기 센서, 액추에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고; 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는 단계; 및 (iii) 뒤집기로 상기 초기 외부를 향하는 표면이 후속 내부를 향하는 표면이 되어 부속체를 수용하기 위한 최종 봉합부를 한정하고, 상기 초기 내부를 향하는 표면은 후속 외부를 향하는 표면이 되어서 상기 전자 장치를 상기 후속 내부를 향하는 표면에 제공하는 상기 가요성 또는 신축성 기관을 뒤집는 단계를 포함하되, 여기서 상기 가요성 또는 신축성 기관을 뒤집는 상기 단계 이후에 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치는 기능이 유지된다.

[0128]

일 실시예에서, 예를 들면, 부속체는 손, 손가락, 손가락 끝, 두개골, 발, 코, 몸통 또는 그 중에 어느 부분이다. 일 실시예로 예를 들면, 가요성 또는 신축성 기관을 제공하는 단계는 (i) 상기 부속체 또는 그 몰드의 표면에 탄성중합체 전구체를 주조하는 단계; 및 (ii) 상기 부속체 형태에 대응하는 봉합부 형태를 갖는 가요성 또는 신축성 기관을 획득하기 위해 상기 탄성중합체 전구체를 경화하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 전사 인쇄 단계는 마이크로전사 인쇄, 점점 전사 인쇄, 용액 기반 인쇄, 소프트 리소그래피 인쇄, 복사 조형, 및 임플린트 리소그래피로 이루어진 군에서 선택된 기술을 통해, 액추에이터, 센서 또는 액추에이터 및 센서의 어레이를 전사하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 전사 인쇄 단계는 탄성중합체 전사 스탬프로부터 액추에이터, 센서 또는 액추에이터 및 센서의 어레이를 신축성 기관의 초기 외표면에 전사하는 단계를 포함한다. 예를 들면, 일 실시예에서, 전사 인쇄 단계는 평면 형태로 상기 탄성중합체 기관을 평면화하는 단계 및 액추에이터, 센서, 또는 액추에이터 및 센서의 어레이를 평면 형태로 상기 신축성 기관에 전사하는 단계를 더 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 전사 인쇄 단계는 상기 탄성중합체 전사 스탬프를 곡선형으로 상기 신축성 기관의 외표면에 굴리는 단계를 더 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 봉합부는 손가락 또는 손가락 끝 표면 형태에 상응하는 내표면 형태를 갖는다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 시스템은 장갑의 손가락 또는 손가락 끝에 결합된다.

[0129]

일 실시예에서, 예를 들면, 하나 이상의 센서, 액추에이터, 또는 두 가지 모두를 상기 가요성 또는 신축성 기관의 후속 외표면으로 전사하여, 제1 센서 또는 액추에이터 또는 두 가지 모두를 후속 내표면에 제공하고 제2 센서 또는 액추에이터 또는 두 가지 모두를 후속 외표면에 제공하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 제1 센서 또는 액추에이터 또는 두 가지 모두가 전기촉각 자극기의 어레이를 포함하고, 상기 센서 또는 액추에이터 또는 두 가지 모두가 촉각 센서들의 어레이를 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 상기 방법은 상기 촉각 센서들을 상기 전기촉각 센서들과 소통가능하게 연결하여 상기 전기촉각 센서들이 상기 촉각 센서들로부터의 출력값에 의해 제어되는 단계를 더 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들면, 전기 촉각 센서의 어레이는 전기적 자극의 공간적 변화 패턴을 생성한다.

[0130]

일 측면에서, 기관 곡물은 원하는 형태에 대해 폴리머를 주조하여 얻는다. 원하는 형태는 사용자 맞춤 적용과 같은 생물학적 표면 자체일 수 있다. 또한, 원하는 형태 자체가 생물학적 표면 형태의 몰드 (mold)일 수 있다. 또한, 기관 곡물은 시판되는 기관(예를 들면, 수술용 장갑)의 용도를 포함하는 비-주조 공정에 의해 달성된다.

[0131]

상기 주조 공정에 의해 부속체에 장착가능한 전자 장치를 제조하는 방법의 실시예는 (i) 부속체 또는 그 몰드를 제공하는 단계; (ii) 하나 이상의 센서, 액추에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자장치를 상기 부속체 또는 그 몰드의 표면에 제공하되, 상기 센서, 액추에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고, 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부는 500 마이크로미터 이하의 두

계를 갖는 단계; (iii) 상기 부속체 또는 그 몰드의 표면에 의해 지지되는 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치에 프리폴리머(prepolymer)를 도입하는 단계; 및 (iv) 상기 가요성 또는 신축성 전자 장치를 지지하는 내표면을 갖는 가요성 또는 신축성 기판을 형성하기 위해 상기 프리폴리머를 중합하는 단계에 의해 이루어진다. 선택적으로, 상기 방법은 부속체 또는 그 몰드의 표면으로부터 기판 및 가요성 또는 신축성 전자 장치를 제거하는 단계를 더 포함한다.

[0132] 임의의 상기 방법은 하나 이상의 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두를 포함하는 가요성 또는 신축성 전자 장치를 상기 가요성 또는 신축성 기판의 외표면에 전사 인쇄하는 단계를 더 포함하고; 상기 센서, 액츄에이터, 또는 두 가지 모두가 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함하고; 여기서 상기 무기 반도체 소자, 금속 소자 또는 두 가지 모두의 적어도 일부분은 500 마이크로미터 이하의 두께를 갖는다. 상기 방법에서, 전자 장치는 기판 표면을 뒤집지 않고 내표면 및 외표면 둘 다에 제공된다.

[0133] 일 실시예에서, 전사 인쇄는 평평한 기판에 전기적 활성 물질을 전사하는 것을 포함한다. 또한, 사용자 표면 또는 사용자 표면의 몰드에 대하여 위치되는 기판처럼, 전사 인쇄는 곡면 형태에 위로 스탬프의 회전 동작 또는 굴리는 동작 등에 의해 곡면이 될 수 있다.

[0134] 임의의 특정 이론에 의해서 제한되길 바라지 않고, 본 발명에 기재된 장치 및 방법에 관한 기본 원리의 이해 또는 신념에 대한 검토가 있을 수 있다. 임의의 기계적 설명 또는 가설의 최고 정확성에 관계없이, 본 발명의 실시예는 역시 작동하고 유용할 수 있다.

[0135] 일반적으로, 본 명세서에 사용된 용어 및 문구는 당업자에게 공지된 표준 텍스트, 저널 참고 문헌 및 문맥을 참조하여 찾을 수 있다. 이하의 정의는 본 발명 맥락에서의 용도를 명확하게 하기 위해 제공된다.

[0136] "봉합부(enclosure)", "내부 용적" 또는 "실내 부"는 상호 교환적으로 사용되며, 탄성중합체 기판의 내표면에 의해 둘러싸인 공간을 의미한다. 따라서, 내표면이 소형 봉합부를 한정하거나 소형 개구부를 갖는 경우에, 봉합부 내부 체적은 이에 상응하여 좁게 제한되고 외부에서 쉽게 접근가능하지 않다. 상기 제한으로 인해 봉합부가 한정하는 내표면에 기능적 전자장치를 안정적으로 자리잡고 위치하도록 하기에 실용적이지 않을 수 있다. 본 발명은 기판의 광범위한 종류와 호환된다. 일례로, 기판은 계수 또는 두께 등의 다양한 특성의 관점에서 설명될 수 있다. 일 실시예에서, 계수는 약 100 kPa와 50 MPa사이와 같은 약 50 MPa 이하의 영률이다. 일 실시예에서, 두께는 약 0.1 mm와 1mm 사이와 같은 1 mm 미만이다.

[0137] 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "컨폼(conform)"은 장치, 물질, 또는 기판이 시간에 따라서 또는 사용 중에 변화할 수 있는 곡률(curvature)을 포함하는 삼차원의 곡률을 갖는 표면과의 등각 접촉을 가능하게 하는 윤곽 프로파일(contour profile)과 같은 임의의 바람직한 윤곽 프로파일을 채택할 수 있을 정도로 낮은 굽힘 강성을 갖는 기판을 지칭한다. 표면 곡률은 매우 불규칙하여 덮힌 상기 표면이 서로 마주하는 주요 표면들을 가질 수 있다. 따라서, 컨폼이라는 측면은 실질적으로 이차원 표면의 단순한 배치가 아니고, 한정된 용적을 갖는 삼차원 물체의 표면을 덮는 것에 대한 것이다.

[0138] "부속체"는 하나 이상의 곡선형 및/또는 평면 표면에 의해 정의된 삼차원 부피를 갖는 임의의 삼차원 물체를 지칭하는 것으로 본원에서 광범위하게 사용된다. 특정 실시예에서, 부속체는 생체 조직에 대응한다. 일측면에서, 부속체는 살아있는 동물의 일부와 같은 생물학적 환경에서 생체 조직이다. 실시예에서, 부속체 표면은 인간을 포함한 살아있는 동물의 뼈, 피부, 또는 표피층에 상응하여, 가요성 또는 신축성 기판의 내표면은 생체 조직의 하나 이상의 표면(들)에 부합하도록 한다. 살아있는 동물의 부속체의 예로는, 손, 손가락, 손가락 끝, 뼈, 두개골, 치아, 머리, 발, 발가락, 다리, 팔, 몸통, 코, 귀, 생식기 또는 그 임의의 부분을 포함하지만, 이에 한정되



지 않는다. 특정 실시예에서, 부속체는 원격 감지 애플리케이션을 포함하는 원격 제어 기기, 로봇 기기 등의 물체와 같은 무생물 객체에 대응한다. "컨포머블(conformable)"은 일례로 높은 곡률을 갖는 표면과의 등각 접촉을 위해 장치, 재료 및/또는 기관이 임의의 바람직한 곡면을 채택할 수 있도록 충분히 낮은 굽힘강성을 갖는 장치, 재료 또는 기관을 지칭한다. 특정 실시예에서, 곡면은 사용자의 부속체이다.

[0139] "등각접촉(conformal contact)"은 장치와 수신면 사이에 형성된 접촉을 지칭한다. 일측면에서, 등각접촉은 장치의 하나 이상의 표면 (일례로, 접촉 표면)이 실질적으로 공극 없는 밀착된 표면으로 미세하게 맞춰지는 것을 포함한다. 실시예에서, 등각 접촉은 장치의 밀착이 되도록 접촉면(들)을 수신면(들)에 맞춰지는 것을 포함하며, 일례로, 장치의 접촉면 표면의 20% 이하가 수신면과 물리적으로 접촉하지 않거나, 선택적으로 장치의 접촉면 표면의 10% 이하가 수신면과 물리적으로 접촉하지 않거나, 선택적으로 장치의 접촉면 표면의 5% 이하가 수신면과 물리적으로 접촉하지 않는 것을 특징으로 한다. 실시예에서, 본 발명의 방법은 봉합부를 한정하는 탄성중합체 기관의 내표면과 상기 봉합부에 삽입된 객체 사이의 등각접촉을 생성하는 단계를 포함한다. 선택적으로, 상기 등각접촉은 탄성중합체 기관 내표면 및 봉합부 내의 곡면에 의해 지지되는 하나 이상의 단결정 무기 반도체 구조, 하나 이상의 유전체 구조, 및/또는 하나 이상의 금속 컨덕터 구조를 더 포함한다.

[0140] 본원에서 사용된 "커버"는 탄성중합체 기관 내표면과 상기 탄성중합체 기관 내표면에 의해 한정되는 봉합부 내에 있는 객체 표면 사이에 있는, 구체적으로 상기 두 표면 사이의 상대적 움직임을 방지하는 자체-생성된 접촉력 하에 있는 등각접촉 영역을 지칭한다. 일측면에서, 커버하는 기관 부분들은 일정하고 균일한 두께를 가질 수 있다. 일측면에서, 상기 커버는 기관 두께의 공간적 분포를 가질 수 있다. 대안적으로, 커버는 통기성을 허용할 수 있게 상기 기관은 메쉬 또는 부직포 구성과 같은 천공을 갖는 실시예를 포함한다. 상기 접촉력은 커버 영역에 걸쳐 균일하게 분배되거나 또는 대안적으로 표면이 더 높은 접촉력을 갖고 상호적으로 움직이지 않는 것이 매우 중요한 특정 위치와 같은 곳에 공간적으로 분배될 수 있다. 상기 위치는 일례로 높은 기능적 전자 장치 밀도를 갖는 위치에 상응한다.

[0141] "개방형 메쉬 형상(open mesh geometry)"은 재료의 외주에 의해 한정되는 것처럼 적어도 20 %, 적어도 40 %, 적어도 60 %, 또는 약 20% 내지 80% 사이의 개방 또는 공극 공간인 표면적을 갖는 물질을 지칭한다. 따라서, 상기 물질은 연속적인 표면 일 수도 있고, 자체적으로 메쉬가 될 수 있는 기관을 덮는 전기적 접촉부를 지칭할 수 있다. 이러한 개방형 메쉬 형상을 갖는 접촉부는 선택적으로 직접적으로 또는 기관에 접촉된 고정장치 아일랜드에 연결된 말단과 같이 간접적으로 기관면에 묶일 수 있다. 상기와 같은 메쉬 형상은 하나 이상의 방향으로 굽힘이나 신축을 용이하게 하는 상이한 정렬을 갖는 다수의 축을 포함하는 주목할 만한 세로로 정의된 축을 가질 수 있다. 일측면에서, 상기 메쉬는 서로에 대해 직교하거나 또는 실질적으로 직교하는 두 방향을 갖는다. 일측면에서, 실질적인 직각은 절대적 직각에서 약 10° 이내에 있는 것을 지칭한다.

[0142] "폐쇄 튜브 형상(Closed tube geometry)"은 제약되고 기관의 다른 부분에 실질적 영향을 주지 않고 움직일 수 없는 말단을 갖는 기관을 지칭한다. 폐쇄 튜브 형상의 일례는 예를 들어, 원통형 튜브 내에 결합되는 직사각형 기관의 단부이다.

[0143] 임의의 상기 가요성 또는 신축성 기관은 부속체 표면을 수용에 대한 측면 치수와 같은 "측면 치수"에 대해서 더 한정될 수 있다. 측면 치수의 예로는 선택된 단면을 따르는 길이, 직경, 또는 둘레가 있다. 상기 기관은 또한 부속체의 표면에 등각 접촉 또는 외부 표면에 접촉이 가능한 표면적과 같은 기준에 대해 더 한정될 수 있다. 본원에 제시된 시스템 및 방법의 이점은 광범위한 치수에 활용이 되고, 1mm 내지 10cm의 작은 규모의 범위에서부터 더 큰 크기에 응용되는 최대 10cm 내지 1000cm를 포함하여 필요에 따라서 선택되는 것이다.

[0144] 다양한 실시예들의 중심적 측면은 봉합부 내의 객체 표면과 긴밀한 등각접촉을 제공 및 유지하는 자체 생성된 힘을 제공하는 탄성중합체 기관에 있다. 따라서, 본원에서 제공되는 임의의 장치들 및 방법들의 일측면은 기본 봉합부 제작 및 크기 보다 더 큰 객체를 수용 또는 수신할 수 있는 확장성 및 조절가능한 내부 체적 (크기 및

형상 모두의 기준에서)을 갖는 봉합부에 대한 것이다. 일례로, 내표면이 상기 표면과 등각접촉하기 위해 봉합부 또는 내부에 곡면을 수용하도록 신축하거나 또는 적극적으로 신축되는 기관이다. 이는 폐쇄된 표면인 내부 체적에 대한 수용될 표면 보다 작은 크기가 되는 기관 내부 체적과 같은 것에 의해 달성될 수 있다. 대안적으로, 개방된 내부 체적과 같은 경우, 상기 기관은 장력 하에 표면을 둘러쌀 수 있고, 따라서 내표면과 수용된 표면 사이에 긴밀한 등각 접촉을 보장한다. 기관의 말단은 접촉제, 접합 메커니즘 (일례로, 스냅, 벨크로, 후크 등), 또는 자체 접착성에 의해 위치에 고정될 수 있다. 등각 접촉을 제공하고 유지하기 위한 자체-생성 접촉력의 상기 측면은, 그렇지 않으면 등각접촉 및 따라서 장치 충실도에 악영향을 미칠 수 있는 과도한 작동 상태 하에서 특히 유용하다. 일례로, 비교적 높은 접촉력은 활발하고 실질적인 움직임과 힘에 관련된 상태에 이용될 수 있다.

[0145] "상호교환적 뒤집기"는 기관의 기계적 특성에 영구적 영향을 미치거나 또는 기능적 전자 장치의 기능 파라미터에 악영향을 주지 않고 내외부 뒤집힘이 가능한 기관을 지칭한다.

[0146] "기능성 파라미터"는 전자 장치가 기능이 유지되거나 및/또는 기능 또는 손상의 정도를 평가하는데 사용된다. 일례로, 본원에 제시된 다수의 장치들 및 방법들은 기능적 전자 장치가 지지되는 표면의 뒤집힘에 대한 것이다. 상기와 같은 뒤집기는 상대적으로 높은 지엽적 세기, 변형 및 굽힘 모멘트와 관련된다. 본 발명의 중요한 기능적 이점은 연관된 장치 또는 장치 소자에 악영향을 주지 않고 이러한 뒤집기를 수행할 수 있는 능력이다. 구부림이나 가요성이 없는 기존의 전자 장치는 아웃라이트 하에 부서지거나 또는 표면 뒤집기 동작으로 인해 심각하게 그 기능성이 영향을 받는다. 이러한 기능적 이점을 정량화 하는 하나의 방법은 본원에서 광범위하게 "기능성 파라미터"로 지칭되는 장치 성능을 뒤집기 전후로 비교하는 것이다. 일측면에서, 기능성 파라미터는 기능적 전자 장치가 작동하는지를 물리적 신호(센서의 경우) 또는 전자적 입력값 (액츄에이터의 경우)인 입력값에 기반하여 출력값을 평가하여 반영할 수 있다. 상기 지표는 뒤집기 이전의 동일한 입력값으로부터의 편차에 의한 비-기능성의 정도 또는 완전한 비-기능성을 평가하는데 적합하다. 상기 경우에, 기능성 충족을 반영하는 사용자-선택 공차는 20%이내, 10%이내, 또는 5% 이내의 출력값과 같이 선택된다. 기능성 파라미터의 "실질적 손상 없음"은 개별 기능적 전자 장치를 지칭할 때 20%, 10%, or 5% 공차를 충족하는 장치를 지칭한다. 어레이 측면에서, 뒤집기 후에 기능성이 유지되는 어레이 장치가 적어도 80%, 적어도 90%, 또는 적어도 95% 이상인 것을 지칭한다.

[0147] "기능적 전자장치"는 장치와 접촉이 되는 표면과 인터페이스하는 센서 또는 액츄에이터와 같은 전자장치를 지칭한다. 기능적 전자장치는 인터페이스에 대한 유용한 정보를 제공한다. 일례로, 촉각센서 장치는 센서와 표면 사이의 힘에 비례하는 출력값을 제공한다. 전기촉각자극기에는, 자극기 기저의 신경의 전기 자극 또는 작동이 있다. 위치 센서는 대조적으로 센서의 작동에 기반하는 출력값을 제공하고 표면 그 자체와 인터페이스 하지 않도록 센서의 작동에 기반하는 출력값을 제공하지만, 여전히 기능적 전자장치의 범주에 포함된다. 따라서, 본원에서 광범위하게 사용되는 "기능적 전자장치"는 높은 수준의 가요성 및 신축성을 유지하거나 또는 용이하게 하기 위해 적절히 박막인 형상 및 배치를 갖는 임의의 센서 또는 액츄에이터를 포함한다. 기능적 전자장치의 예로는, 전극, 액츄에이터, 변형 센서, 모션 센서, 변위 센서, 가속 센서, 압력 센서, 힘 센서, 화학 센서, pH 센서, 촉각 센서, 광 센서, 전자기 방사원, 온도 센서, 열원, 커패시티브 센서 및 이들의 조합을 포함한다. 전기촉각 자극기는 자극기 기저의 신경의 전기자극 또는 작동을 제공하여 가상현실 시스템 류를 제공할 수 있다.

[0148] "장치 소자"는 장치의 개별 부분을 광범위하게 지칭하지만, 자체적으로는 기능적 정보를 제공하기에 부족하다. "접속부"는 소자의 일례이고, 다른 소자 또는 소자들 사이에 전기적 연결을 확립할 수 있는 전기적 전도성 구조를 지칭한다. 특히, 접속부는 분리되어 있는 소자들 사이의 전기적 접촉을 확립할 수 있다. 필요한 장치 사양, 작동, 응용에 따라서, 접속부는 적합한 소재로 제조된다. 적합한 전도성 물질들은 반도체 및 금속 컨덕터를 포함한다. 또 다른 유용한 장치 소자는 박막형 나노멤브레인으로 이는 다이오드의 일부를 형성할 수 있다. 따라서, 기능적 전자 장치는 장치 소자로 구성된 것을 특징으로 한다.

[0149]

[0150] 다른 소자들은 박막 트랜지스터 (TFT), 트랜지스터, 다이오드, 전극, 집적 회로, 회로 소자, 제어 소자, 광전지

소자(광전변환 소자) (일레로, 태양 전지), 센서, 발광 소자, 액츄에이터, 압전 소자, 수신기, 송신기, 마이크로 프로세서, 트랜스듀서, 아일랜드, 브릿지 및 이들의 조합을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 소자들은 당 분야에 알려진 것과 같이 금속 증착, 와이어 본딩, 및 솔리드 또는 도전성 페이스트 적용으로 이에 따라 일레로 장치 아일랜드를 형성하도록 하나 이상의 콘택트패드에 연결될 수 있다. 본 발명의 전자장치는 선택적으로 상호접속된 구성으로 제공되는 하나 이상의 소자를 포함할 수 있다.

[0151]

"전자 장치"는 일반적으로 대면적 전자장치, 인쇄된 회로기판, 집적 회로, 어레이, 생물학적 또는 화학적 센서, 물리적 센서 (일레로, 온도, 변형 등), 나노전자기계 시스템, 마이크로전자기계 시스템, 광전지 장치, 통신 시스템, 의료 기기, 광학 기기, 전기-광학 장치를 포함한다. 전자장치는 표면의 특성을 감지할 수 있거나 및/또는 표면의 특성을 제어할 수 있다.

[0152]

[0153]

"감지" 및 "센서"는 존재, 부재, 양, 물리적 생물학적 상태 크기 또는 강도 및/또는 화학적 특성을 감지하는데 유용한 기능적 전자 장치 또는 장치 소자를 지칭한다. 감지에 유용한 전자 장치 소자는 전극 요소, 화학적 또는 생물학적 센서 요소, pH 센서, 온도 센서, 촉각 센서, 변형 센서, 기계적 센서, 위치 센서, 광 센서, 커패시티브 센서를 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 유용한 기능적 전자 장치는 인접 전위를 검출하기 위한 전극, 생물학적 상태(일레로, 질병 상태, 셀 타입, 셀 상태)를 검출하기 위한 센서, 화학물질, pH, 온도, 압력, 위치, 전자기 방사 (형광 염료가 주입된 조직과 연계되는 것과 같은 바람직한 파장 이상의 방사를 포함), 전위를 제공하기 위해 작동가능하게 배열된 다양한 장치 소자를 포함한다.

[0154]

[0155]

"액츄에이팅" 및 "액츄에이터" 는 생물학적 조직인 일레로 표적 조직과 같은 외부 조직, 물질 또는 유체에 상호 작용, 자극, 제어 또는 영향을 주는데 유용한 기능적 전자장치 또는 장치 소자를 지칭한다. 유용한 액츄에이팅 소자는 전극 소자, 전자기 방사선 방출 소자, 발광 다이오드, 레이저와 발열체를 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 기능적 전자장치는 조직에 전압 또는 전류를 제공하기 위한 전극, LED와 같이 조직에 전자기 방사를 제공하기 위한 전자기 방사원인 액츄에이터를 포함한다. 액츄에이터는 또한 조직을 절제하기 위한 절제 소스, 조직을 가열하는 열원, 조직을 제거 또는 치환하기 위한 치환 소스, 생물학적 또는 화학적 작용에 의한 세포사멸, 세포 증식, 또는 세포치료를 포함하는 생물학적 반응과 같은 생물학적 기능에 영향을 주는 생물체제 또는 화학물질을 방출하는 생물체제 또는 화학물질 저장소를 포함한다. 액츄에이터는 전기촉각센서가 될 수 있다.

[0156]

"촉각 센서"는 힘 또는 압력을 센서로부터의 전압 출력값으로 변환하는 것과 같은 터치에 민감한 트랜스듀서를 지칭한다. "전기촉각 자극기"는 감각을 시뮬레이션하기 위해 전기적으로 피부의 신경을 자극하는 전자장치를 지칭하고, 액츄에이터로 분류 될 수 있다.

[0157]

[0158]

"반도체"는 매우 낮은 온도에서 절연체인 임의의 물질을 지칭하지만, 약 300 켈빈(Kelvin)의 온도에서 상당한 전기 전도성을 갖는다. 본 설명에서, 반도체라는 용어의 사용은 마이크로 전자공학 및 전자 기기 기술 분야에서 본 용어의 사용과 일치하는 것이다. 유용한 반도체는 실리콘, 게르마늄 및 다이아몬드와 같은 원소 반도체 및 SiC 및 SiGe와 같은 그룹 IV 화합물 반도체, AlSb, AlAs, AlN, AlP, BN, BP, BAs, GaSb, GaAs, GaN, GaP, InSb, InAs, InN, 및 InP와 같은 그룹 III-V 반도체,  $Al_xGa_{1-x}As$ 와 같은 그룹 III-V 삼원 반도체 합금, CsSe, CdS, CdTe, ZnO, ZnSe, ZnS, 및 ZnTe와 같은 그룹 II-VI 반도체, CuCl와 같은 그룹 I-VII 반도체, PbS, PbTe, 및 SnS와 같은 그룹 IV-VI 반도체,  $PbI_2$ ,  $MoS_2$ , 및 GaSe와 같은 층 반도체, CuO 및  $Cu_2O$ 와 같은 산화물 반도체의 화합물 반도체를 포함한다. 반도체 라는 용어는 진성반도체 및 주어진 용도 또는 기기에 유용하게 쓰이는 유리한 전자적 특성을 제공하기 위해, P-형 도핑 물질 및 N-형 도핑 물질을 갖는 반도체를 포함하는 하나 이상의 선택된 물질로 도핑된 불순물반도체를 포함한다.

[0159]

반도체라는 용어는 반도체 물질 및/또는 도판트의 혼합물로 이루어진 조성물을 포함한다. 일부 실시예에 유용한 구체적인 반도체 물질은 Si, Ge, Se, 다이아몬드, 풀러렌, SiC, SiGe, SiO,  $SiO_2$ , SiN, AlSb, AlAs, AlIn,



AlN, AlP, AlS, BN, BP, BAs, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, GaSb, GaAs, GaN, GaP, GaSe, InSb, InAs, InN, InP, CsSe, CdS, CdSe, CdTe, Cd<sub>3</sub>P<sub>2</sub>, Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub>, Cd<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>, ZnO, ZnSe, ZnS, ZnTe, Zn<sub>3</sub>P<sub>2</sub>, Zn<sub>3</sub>As<sub>2</sub>, Zn<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>, ZnSiP<sub>2</sub>, CuCl, PbS, PbSe, PbTe, FeO, FeS<sub>2</sub>, NiO, EuO, EuS, PtSi, TlBr, CrBr<sub>3</sub>, SnS, SnTe, PbI<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub>, GaSe, CuO, Cu<sub>2</sub>O, HgS, HgSe, HgTe, HgI<sub>2</sub>, MgS, MgSe, MgTe, CaS, CaSe, SrS, SrTe, BaS, BaSe, BaTe, SnO<sub>2</sub>, TiO, TiO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, BiI<sub>3</sub>, UO<sub>2</sub>, UO<sub>3</sub>, AgGaS<sub>2</sub>, PbMnTe, BaTiO<sub>3</sub>, SrTiO<sub>3</sub>, LiNbO<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>, La<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub>, CdZnTe, CdMnTe, CuInSe<sub>2</sub>, 구리 인듐 갈륨 셀렌 (CIGS), HgCdTe, HgZnTe, HgZnSe, PbSnTe, Tl<sub>2</sub>SnTe<sub>5</sub>, Tl<sub>2</sub>GeTe<sub>5</sub>, AlGaAs, AlGaN, AlGaP, AlInAs, AlInSb, AlInP, AlInAsP, AlGaAsN, GaAsP, GaAsN, GaMnAs, GaAsSbN, GaInAs, GaInP, AlGaAsSb, AlGaAsP, AlGaInP, GaInAsP, InGaAs, InGaP, InGaN, InAsSb, InGaSb, InMnAs, InGaAsP, InGaAsN, InAlAsN, GaInAsSb, GaInAsSbP 및 이들의 임의의 조합을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다.

[0160]

다공성 실리콘 반도체 물질은 본원에 기재된 양태에 유용하다. 반도체 재료의 불순물은 반도체 물질에 제공된 반도체 물질(들) 자체를 제외한 원자, 원소, 이온 및/또는 분자, 또는 반도체 물질에 제공되는 임의의 도펀트이다. 불순물은 반도체 물질의 전자적 특성에 부정적 영향을 주는 반도체 물질 내에 있는 바람직하지 않은 물질이고, 산소, 탄소, 및 중금속을 포함한 금속을 포함하나, 이에 한정되지 않는다. 중금속 불순물은 주기율표 상의 구리와 납 사이의 원소들 군으로, 칼슘, 나트륨 및 그 모든 이온, 화합물 및/또는 착물을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다.

[0161]

"반도체 소자"는 광범위하게 모든 반도체 물질, 조성물 또는 구조를 지칭하고, 명시적으로는 고품질의 단결정 및 다결정 반도체, 고온 처리를 통해 제조된 반도체 물질, 도핑된 반도체 재료, 무기 반도체, 복합 반도체 재료를 포함한다.

[0162]

"나노 구조 물질" 및 "마이크로 구조 물질"은 각각 하나 이상의 나노미터-크기 및 마이크로미터-크기의 물리적 치수 (일례로, 두께) 또는 하나 이상의 나노미터-크기 및 마이크로미터-크기의 채널, 보이드(voids), 구멍, 기둥 등과 같은 오목(recessed) 또는 릴리프부(relief features)와 같은 특성을 갖는 물질을 지칭한다. 나노구조 물질의 릴리프부 또는 오목부는 1 - 1000 nm 범위에서 선택된 적어도 하나 이상의 물리적 치수를 갖는 반면, 마이크로구조 물질의 릴리프부 또는 오목부는 1 - 1000 μm 범위에서 선택된 적어도 하나 이상의 물리적 치수를 갖는다. 나노구조 및 마이크로구조 물질은 일례로 박막 (일례로, 마이크로필름 및 나노필름), 다공성 물질, 오목부의 패턴, 릴리프부의 패턴, 연마 또는 거친 표면을 갖는 물질 등을 포함한다. 나노필름 구조는 또는 나노구조 물질의 일례이고, 마이크로필름 구조는 마이크로구조 물질의 일례이다. 실시예에서, 본 발명은 하나 이상의 나노구조 또는 마이크로구조 무기 반도체 소자, 하나 이상의 나노구조 또는 마이크로구조 금속 컨덕터 소자, 하나 이상의 나노구조 또는 마이크로구조 유전체 소자, 하나 이상의 나노구조 또는 마이크로구조 캡슐화층 및/또는 하나 이상의 나노구조 또는 마이크로구조 기관층을 포함하는 장치를 제공한다.

[0163]

[0164]

소자는 나노멤브레인 재료일 수 있다. "나노 멤브레인"은 일례로 리본, 실린더 또는 관상의 형태로 제공되는 1-1000 nm 의 범위에서 선택되는 두께 또는 대안적으로 어떤 응용분야에서는 1-100 nm의 범위에서 선택되는 두께를 갖는 구조이다. 실시예에서, 나노리본은 반도체, 유전체 또는 금속 컨덕터 구조의 전자장치이다. 실시예에서, 나노 리본은 두께 1000 nm 미만 및 선택적으로 100nm 이하를 갖는다. 실시예에서, 나노 리본은 측면 치수(일례로, 길이 또는 폭)에 대한 두께의 비율이 0.1 내지 0.0001의 범위에서 선택된다.

[0165]

"중성역학층(neutral mechanical plane, NMP)"은 장치의 측면방향 *b* 및 세로방향 *l*에 존재하는 가상의 판이다. 상기 NMP는 장치의 수직 축 *h* 를 따라서 있는 더욱 극단의 위치에 및/또는 장치의 더욱 굽힘성 높은 층 내에 자리하는 기타 판들 보다 굽힘 세기를 덜 받아들일 수 있다. 따라서, NMP의 위치는 장치의 두께 및 장치의 층(들)을 형성하는 물질에 의해 결정된다. 실시예에서, 본 발명의 장치는 장치의 중성역학층에 일치되는 인접하게 제공되는 하나 이상의 무기 반도체 소자, 하나 이상의 금속 소자, 또는 하나 이상의 무기 반도체 소자 및 하나 이상의 금속 소자를 포함한다. 다수의 층을 결합하는 다양한 NMP 시스템의 예시는 일례로 미국특허공보

2010/0002402 (Atty Ref 213-07)에서 제공되고, NMP를 포지셔닝 하는 방법의 참고로 구체적으로 인용된다.

- [0166] "일치(coincident)"는 일레로 기능층, 기관층, 또는 다른 층과 같은 층 내에 또는 인접하여 위치하는 중성역학 층과 같은 표면을 일레로 하는 두 개 이상의 객체들, 평면들, 또는 표면들의 상대적인 위치를 지칭한다. 실시예에서, 중성역학층은 층에서 가장 변형에 민감한 층 또는 물질에 대응하여 위치한다.
- [0167] "인접(proximate)"은 변형-민감성 물질의 물리적 특성에 악영향을 주지 않고 바람직한 컨포머리티를 계속 제공하면서, 기능층, 기관층, 또는 다른 층과 같은 층의 위치를 밀접하게 따르는 중성역학층과 같은 표면을 일레로 하는 두 개 이상의 객체들, 평면들, 또는 표면들의 상대적인 위치를 지칭한다. "변형-민감성"은 상대적으로 낮은 변형에 대해서 부러지거나 또는 그렇지 않으면 손상되는 물질을 지칭한다.
- [0168] 일반적으로, 고 변형 민감성을 갖고 결과적으로 첫 번째로 부러지는 층이 되기 쉬운 층은 상대적으로 취약한 반도체 또는 다른 변형-민감성 장치 소자를 포함하는 기능층과 같은 기능층에 위치된다. 층에 인접한 중성역학 층은 상기 층 내로 한정될 필요가 없지만, 장치가 피부 조직 표면에 컨포할 때에 변형-민감성 장치 소자에 가해진 변형을 감소시키는 기능적 이점을 제공할 만큼 인접하거나 또는 충분히 가깝게 위치할 수 있다. 일부 실시예에서, 인접하다는 것은 제1 요소가 제2 요소로부터 100마이크론 이내, 또는 선택적으로 일부 실시예에 대해서는 10마이크론 이내, 또는 선택적으로 일부 실시예에 대해서는 1마이크론 이내에 위치하는 것을 지칭한다.
- [0169]
- [0170] "소자"는 장치에 사용되는 재료 또는 개별 소자를 지칭하여 광범위하게 사용된다. "접속부"는 소자의 일레이며, 구성 요소 또는 구성 요소 간의 전기적 접속을 확립 할 수 있는 도전성 재료를 말한다. 특히, 접속부는 별개 및/또는 서로에 대해 움직일 수 있는 소자들 사이의 전기 접속을 수립할 수 있다. 필요한 장치의 특성, 동작, 및 응용분야에 따라, 접속부는 적절한 재료로 만들어진다. 높은 도전성이 요구되는 응용분야의 경우, 일반적인 연결 금속이 사용되고, 구리, 은, 금, 알루미늄 등 및 합금을 포함하며, 이에 한정되는 것은 아니다. 적절한 전도성 물질은 실리콘 및 갈륨 비소와 같은 반도체 및 인듐 주석 산화물과 같은 다른 전도성 물질을 포함한다.
- [0171] "신축성" 또는 "가요성" 의 접속부는 장치 소자의 전기적 연결에 또는 장치 소자로부터의 전기적 컨덕션에 악영향을 주지 않고 하나 이상의 방향으로 신축, 굽힘 및/또는 압축과 같은 다양한 힘 및 변형을 견딜 수 있는 접속부를 본원에서 광범위하게 지칭한다. 따라서, 신축성 연결부는 GaAs와 같은 상대적으로 취약한 재료로 형성되지만, 상당한 변형력 (일레로, 신축, 굽힘, 압축)에 노출되었을 때에도 상기 접속부의 기하학적 구성으로 인해 지속적인 기능이 유지될 수 있다. 예시적 실시예에서, 신축성 접속부는 파쇄하지 않고 1% 이상, 선택적으로 10% 또는 선택적으로 30% 또는 선택적으로 100%까지 보다 더 큰 변형을 견딜 수 있다. 일레로, 변형은 연결부 중 적어도 일부가 접합되어있는 하부 탄성중합체 기관을 신축함으로써 생성된다. 특정 실시예에서, 가요성 또는 신축성 연결부는 물결 모양, 구불구불한 모양, 구부러진 모양을 갖는 연결부를 포함한다.
- [0172] 본 명세서의 문맥에서, "굽은 구성(bent configuration)"이란 힘의인가로 인한 굴곡 형태를 갖는 구조물을 지칭한다. 굽은 구성은 하나 이상의 접힌 영역, 볼록 영역, 오목 영역, 및 이들의 임의의 조합을 가질 수 있다. 유용한 굽은 구성은, 일레로, 코일 형태, 주름 형태, 좌굴 형태 및/또는 물결 모양 (즉, 파-형상)의 구성으로 제공 될 수 있다. 신축성 굽은 접속부와 같은 굽은 구조는 상기 굽은 구조가 변형이 될 때의 구성으로 중합체 및/또는 탄성 기관과 같은 가요성 기관에 결합될 수 있다. 일부 실시예에서, 굽은 리본 구조와 같은 굽은 구조는 30% 이하의 변형, 선택적으로 10% 이하의 변형, 선택적으로 5% 이하의 변형, 및 선택적으로 일부 응용분야에 바람직하게 1% 이하의 변형 하에 있다. 일부 실시예에서, 굽은 리본 구조와 같은 굽은 구조는 0.5% 내지 30% 범위에서 선택되는 변형, 선택적으로 0.5% 내지 10% 범위에서 선택되는 변형, 선택적으로 구조는 0.5% 내지 5% 범위에서 선택되는 변형 하에 있다. 대안적으로, 신축성 굽은 접속부는 자체적으로 신축성이 없는 기관을 포함하는 장치 소자의 기관에 결합될 수 있다. 상기 기관 자체는 평면, 실질적 평면, 곡면, 날카로운 모서리를 갖는 형태, 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 신축성 굽은 접속부는 하나 이상의 상기 복합 기관 표면 형태에 전

사될 수 있다.

- [0173] "장치 소자(device component)"는 광범위하게, 전기적, 광학적, 기계적 또는 열 장치 내에서 개별 소자를 지칭하는데 사용된다. 소자들은 포토다이오드, 구성 요소를 포함하지만, 포토 다이오드, LED, TFT, 전극, 반도체, 다른 집광/광감지 소자, 트랜지스터, 집적 회로, 장치 소자를 수용 할 수있는 접착 패드, 박막 장치, 회로 소자, 제어 소자, 마이크로 프로세서, 트랜스듀서 및 이들의 조합을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 장치 소자는 일례로, 업계에 알려진 것과 같은 금속 증착, 와이어 본딩, 고체 또는 도전성 페이스트 적용과 같은 하나 이상의 컨택트 패드에 연결될 수 있다. 전기 장치는 일반적으로 복수의 장치 소자를 결합하는 장치를 지칭하고, 대 면적 전자장치, 인쇄된 회로 기판, 집적 회로, 장치 소자 어레이, 생물학적 및/또는 화학적 센서, 물리적 센서 (일례로, 온도, 빛, 방사선 등), 태양 전지 또는 광전지 어레이, 디스플레이 어레이, 광 콜렉터, 시스템 및 디스플레이를 포함한다.
- [0174] "아일랜드(island)" 또는 "장치 아일랜드"는 다수의 반도체소자 또는 능동 반도체 구조를 포함하는 전자장치의 상대적으로 강성인 장치 요소 또는 소자를 지칭한다. "브리지(bridge)" 또는 "브리지 구조"는 두개 이상의 장치 아일랜드, 또는 하나의 장치 아일랜드를 다른 장치 소자에 상호접속하는 신축성 또는 가요성 구조를 지칭한다. 구체적인 브리지구조는 가요성 반도체 접속부를 포함한다.
- [0175] "캡슐화"는 기판, 접착층(adhesive layer), 또는 캡슐화층과 같은 하나 이상의 다른 구조에 의해 적어도 부분적으로, 일부 경우에는 완벽하게 둘러싸여 있는 하나의 구조 배향성을 지칭한다. "부분적으로 캡슐화"는 하나 이상의 다른 구조에 의해 부분적으로 둘러싸여 있는 하나의 구조의 배향성을 지칭하며, 일례로 여기서 상기 구조의 외부 표면의 30%, 또는 선택적으로 50%, 또는 선택적으로 90% 가 하나 이상의 다른 구조에 의해 둘러싸여 있는 것이다. "완벽한 캡슐화"는 하나 이상의 다른 구조에 의해 완벽히 둘러싸인 하나의 구조의 배향성을 지칭한다. 본 발명은 일례로 탄성중합체 캡슐화 같은 폴리머 캡슐화 결합을 통해 부분적으로 또는 완벽히 캡슐화된 무기 반도체 소자, 금속 컨덕터 소자 및/또는 유전체 소자를 포함하는 장치를 포함한다.
- [0176] "장벽층(barrier layer)은 두 개 이상의 다른 장치 소자를 공간적으로 분리하거나 또는 장치 소자를 장치 외부의 구조, 물질, 또는 유체로부터 공간적으로 분리하는 장치 소자를 지칭한다. 실시예에서, 장벽층은 하나 이상의 장치 소자를 캡슐화한다. 실시예들에서, 장벽층은 하나 이상의 장치 소자를 수용액, 생물적 조직 및/또는 생물적 환경으로부터 분리한다. 일부 실시예에서, 장벽층은 수동(passive) 장치소자이다. 일부 실시예에서, 장벽층은 기능적이지만 비-능동적인 장치 소자이다. 특정 실시예에서, 장벽층은 습기 장벽이다. 본원에서 사용되는 바로는, "습기 장벽"이라는 용어는 체액, 이온 용액, 물 또는 다른 용매로부터 다른 장치 소자에 대한 보호를 제공하는 장벽층을 지칭한다. 일 실시예에서, 장벽층은 일례로 누설 전류가 캡슐화된 장치 소자를 벗어나 외부 구조, 물질 또는 유체에 도달하는 것을 방지함으로써 외부 구조, 물질 또는 유체를 보호한다. 특정 실시예에서, 장벽층은 열 장벽이다. 본원에서 사용되는 바로는, "열 장벽"이라는 용어는 하나의 장치 소자에서 다른 소자로 또는 하나의 장치 소자로부터 외부 구조, 유체 또는 물질로 열이 전달되는 것을 방지, 감소 또는 그렇지 않으면 제한하는 열 절연체처럼 작동하는 장벽층을 지칭한다. 유용한 열 장벽은 0.001 내지 0.3 W/mK 범위에서 선택되는 것과 같은 0.3 W/mK 미만의 열 전도성을 갖는 물질로 이루어진 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 열전기 냉각 장치 및 시스템과 같은 당 업계에 공지된 구성요소와 같은 능동 냉각 소자를 열 장벽은 포함한다. 열 장벽은 또한 장치 또는 조직의 일부로부터 열을 빼내기에 유용한 구조와 같은 열관리 구조로 이루어진 장벽을 포함하며, 이러한 및 다른 실시예에서, 열 장벽은 일례로 금속의 열전도 특성과 같은 높은 열 전도성을 갖는 물질인 열 전도성 물질로 이루어진다.
- [0177] "생체 적합성"이란 생체 내(in-vivo) 생물학적 환경 내에 주어진 때, 이하에서 부정적 면역 반응으로 지칭되는 면역학적 거부 또는 해로운 영향을 도출하지 않는 물질을 지칭한다. 일례로, 생체적합성 물질이 인간 또는 동물에 이식될 때, 면역반응을 나타내는 생물학적 마커는 기초값으로부터 10% 미만, 또는 20% 미만, 또는 25% 미만, 또는 40% 미만, 또는 50% 미만으로 변한다. 대안적으로, 면역반응은 조직학적으로 결정될 수 있는데, 여기서 이식된 장치 내에 및 인접한 면역반응경로에 개입된 면역 세포 또는 마커를 포함하는 마커를 시각적으로 평가함

으로서 국지적 면역반응이 평가된다. 일측면에서, 생체적합성의 장치는 조직학적으로 결정된 것과 같이 면역반응을 관찰가능하게 변화시키지 않는다. 일부 실시예에서, 본 발명은 여러 주 내지 여러 달과 같은 장기간 이식을 위해 구성된 생체적합성의 장치를 부정적 면역반응을 일으키지 않고 제공한다. 이식은 최소한의 침습적 과정으로 일부 면역반응 및 연계된 상처가 일어날 수 있는 것으로 간주하는데, 이는 면역 반응이 국부적으로 한정되고, 일시적이며, 대규모 염증 및 동반되는 해로운 효과로 이어지지 않고, 이식된 장치가 대응되는 물리적 외상만 있는 경우에 비해 반응을 실질적으로 상승시키지 않는 경우에 한해 그러하다.

[0178] "생체 불활성(bioinert)"은 생체 내(in-vivo) 생물학적 환경 내에 노출 될 때 사람이나 동물로부터 면역 반응을 유도하지 않는 물질을 지칭한다. 일례로, 생체 불활성 물질이 인체 또는 동물에 이식되면, 면역 반응을 나타내는 생물학적 마커는 실질적으로 일정하게 유지된다(기준값 플러스 또는 마이너스 5 %). 일부 실시예에서, 본 발명은 생체 불활성 시스템, 장치 및 관련 방법을 제공한다.

[0179]

[0180] "다층화"는 요소들의 어레이에 대해 편리한 제어를 제공하기 위한 전자 회로를 지칭한다. 일례로, PCT 공개공보 WO2011/084450 (126-09WO)는 구체적으로 참고로 인용되는 전기 생리학 응용분야에서 다층화 회로를 개시한다. 그 밖의 다른 예로는, US 특허 출원 공보 2003/0149456은 종래의 단일 리드 심장 페이스 펄스 발생기에 의한 제어를 허용하는 다층화 회로를 포함하는 다-전극 심장 리드 어댑터를 개시한다. 유사하게, US 특허 출원 공보 2006/0173364은 기존의 집적 회로 상에 디지털 다층화 회로를 구축하는 멀티채널 전기 생리학 획득 시스템을 개시한다.

[0181]

[0182] "초박막(ultrathin)"은 굽힘의 극단적인 수준을 나타내는 얇은 형상의 장치를 의미한다. 실시예에서, 초박막은 1  $\mu\text{m}$ 미만, 600 미만, 또는 500nm 미만의 두께를 갖는 회로를 말한다. 실시예에서, 초박막인 다층장치는 1  $\mu\text{m}$  미만, 600 미만, 또는 500nm 미만의 두께를 갖는다.

[0183] "박막층"은 적어도 부분적으로 기저의 기관을 커버하는 물질을 지칭하고, 여기서 두께는 300  $\mu\text{m}$ 이하, 200  $\mu\text{m}$  이하, 또는 50  $\mu\text{m}$ 이하인 것을 특징으로 한다. 대안적으로, 상기 층은 전자장, 더욱 상세하게는 전자장치 내의 변형에 민감한 기능층에 대한 변형을 실질적으로 감소시키거나 또는 분리시키기에 충분한 두께와 같은 기능적 파라미터의 기준에서 설명된다.

[0184] "중합체"는 고 분자량으로 종종 특징지어지는 하나 이상의 단량체의 공유 화학 결합 또는 중합 생성물의 반복 구조 단위로 구성되는 고분자를 지칭한다. 중합체라는 용어는 하나의 반복 단량체 서브 유닛을 필수적으로 (essentially) 포함하는 단일중합체 또는 중합체를 포함한다. 중합체라는 용어는 또한 랜덤, 블록, 교대, 분절, 그래프트, 테이퍼드와 같은 공중합체와 같은 두 개 이상의 단량체 서브유닛을 필수적으로 포함하는 중합체 또는 공중합체를 포함한다. 링크된 단량체 사슬을 갖는 가교(crosslinked) 중합체는 일부 응용 분야에 특히 유용하다. 상기 방법, 장치 및 소자에 유용한 중합체는 플라스틱, 탄성중합체, 열가소성 탄성중합체, 엘라스토플라스틱, 열가소성 및 아크릴레이트를 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 예시적 중합체는 아세탈 폴리머, 생분해성 중합체, 셀룰로오스 계 중합체, 플루오로 중합체, 나일론, 폴리 아크릴로 니트릴 계 중합체, 폴리 아미드-이미드 중합체, 폴리이미드, 폴리아릴레이트, 폴리 벤즈이미다졸, 폴리 부틸렌, 폴리 카보네이트, 폴리에스테르, 폴리 에테르이미드, 폴리에틸렌, 폴리에틸렌 공중합체 및 변성 폴리에틸렌, 폴리 케톤, 폴리 (메틸 메타크릴레이트), 폴리 메틸펜렌, 폴리 페닐렌 옥사이드 및 폴리 페닐렌 설퍼이드, 폴리 프탈아미드, 폴리 프로필렌, 폴리 우레탄, 스티렌계 수지, 설폰계 수지, 비닐계 수지, 고무 (천연 고무, 스티렌 - 부타디엔, 폴리 부타디엔, 네오프렌, 에틸렌 - 프로필렌, 부틸, 니트릴, 실리콘 포함), 아크릴, 나일론, 폴리 카보네이트, 폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리 프로필렌, 폴리스티렌, 폴리 염화 비닐, 폴리올레핀 또는 이들의 임의의 조합을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다.

[0185] "탄성중합체 스탬프" 및 "탄성중합체 전송 장치"는 상호교환적으로 사용되고 물질을 전사할 뿐 만 아니라 수용할 수 있는 표면을 갖는 탄성중합체 물질을 지칭한다. 본 발명의 일부 방법에 유용한 예시적인 등각 전송 장치

는 탄성중합체 스탬프, 몰드 및 마스크와 같은 탄성중합체 전사 장치를 포함한다. 상기 전사 장치는 도너 물질로부터 수용 물질(receiver material)로의 물질 전달에 영향을 주고 및/또는 이를 촉진한다. 실시예에서, 본 발명의 방법은 일례로 제조 기관으로부터 장치 기관으로 하나 이상의 단결정 무기 반도체 구조, 하나 이상의 유전체 구조 및/또는 하나 이상의 금속 소자를 전사 하는 마이크로전자 인쇄 프로세스의 탄성중합체 전사 장치 (일례로, 탄성중합체 스탬프)와 같은 컨포멀 전자 장치를 사용한다.

[0186]

"탄성 중합체"는 신축되거나 또는 변형되고 실질적인 영구적 변형없이 원래의 모양으로 돌아 올 수 있는 고분자 재료를 지칭한다. 탄성중합체는 일반적으로 실질적으로 탄성적인 변형을 겪는다. 유용한 탄성중합체는 중합체, 공중합체, 복합 재료 또는 중합체 및 공중합체의 혼합물로 이루어진 것을 포함한다. 탄성중합체 층은 적어도 하나의 탄성중합체를 포함하는 층을 지칭한다. 탄성중합체 층은 도펀트 및 기타 비-탄성중합체 물질을 또한 포함할 수 있다. 유용한 탄성중합체는 열가소성 엘라스토머, 스티렌계 물질, 올레핀계 재료, 폴리올레핀, 폴리 우레탄 열가소성 엘라스토머, 폴리아미드, 합성 고무, PDMS, 폴리부타디엔, 폴리이소부틸렌, 폴리(스티렌 - 부타디엔 - 스티렌), 폴리 우레탄, 폴리클로로프렌, 및 실리콘을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 일부 실시예에서, 탄성중합체 스탬프는 탄성중합체를 포함한다. 예시적 탄성중합체는 폴리 (디메틸 실록산)을 포함하는 폴리실록산 (즉, PDMS 및 H-PDMS), 폴리 (메틸 실록산), 부분적으로 알킬화된 폴리 (메틸 실록산), 폴리 (알킬 메틸 실록산)으로서 규소 함유 중합체 / 폴리 (페닐 메틸 실록산), 실리콘 변성 엘라스토머, 열가소성 엘라스토머, 스티렌 계 물질, 올레핀 계 재료, 폴리올레핀, 폴리 우레탄 열가소성 엘라스토머, 폴리 아미드, 합성 고무, 폴리 이소부틸렌, 폴리 (스티렌 - 부타디엔 - 스티렌), 폴리 우레탄 류, 폴리 클로로프렌, 및 실리콘을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 실시 예에서, 폴리머는 탄성중합체이다.

[0187]

"영률(Young's modulus)"은 주어진 물질에 대한 변형에 대한 힘의 세기의 비율을 지칭하는 물질, 장치, 또는 층의 기계적 특성이다. 영률은 다음 식에 의해 표현될 수 있다. 여기서,  $E$  는 영률,  $L_0$  은 평형길이(equilibrium length),  $\Delta L$  은 인가된 강도에 의한 길이변화,  $F$  는 인가된 힘, 및  $A$ 는 힘이 인가된 면적이다.:

$$E = \frac{(\text{stress})}{(\text{strain})} = \left( \frac{L_0}{\Delta L} \right) \left( \frac{F}{A} \right) \quad (I)$$

[0188]

[0189]

영률은 또한 다음 식을 라메(Lame) 상수에 의해 표현될 수 있다. 여기서,  $\lambda$  및  $\mu$  는 라메 상수이다:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \quad (II)$$

[0190]

[0191]

높은 영률 (또는 "고 모듈러스") 및 낮은 영률(또는 "저 모듈러스")은 특정 물질, 층, 또는 장치 내에서의 영률 크기의 상대적인 지표이다. 일부 실시예에서, 높은 영률은 낮은 영률보다 바람직하게는 일부 응용분야에서 약 10배 더 높고, 더 바람직하게는 다른 응용분야에서는 약 100배 더 높고, 더욱 더 바람직하게는 또 다른 응용분야에서는 약 1000배 더 높다. 실시예에서, 저 모듈러스 층은 100 MPa 미만의 영률, 선택적으로 10 MPa 미만의 영률, 선택적으로 0.1 MPa 내지 50 MPa 범위에서 선택되는 영률을 갖는다. 실시예에서, 고 모듈러스 층은 100 MPa 초과 영률, 선택적으로 10 MPa 초과 영률, 선택적으로 1 GPa 내지 100 GPa 범위에서 선택되는 영률을 갖는다. 실시예에서, 본 발명의 장치는 낮은 영률을 갖는 기관, 캡슐화층, 무기 반도체 구조, 유전체 구조 및/또는 금속 컨덕터 구조와 같은 하나 이상의 구성요소를 갖는다.

[0192]

"불균일 영률(Young's modulus )"은 공간적으로 변하는 영률을 가지는 재료를 말한다 (일례로, 표면의 위치에 따라 변화). 불균일 영률을 갖는 재료는 선택적으로, 전체 재료에 대한 "벌크" 또는 "평균" 영률의 기준에서 설명 될 수 있다.



[0193] "저 모듈러스(modulus)"는 10 MPa 이하, 5 MPa 이하, 또는 1 MPa 이하의 영률을 갖는 물질을 지칭한다. 일측 면에서, 기능층은 저 모듈러스를 갖고, 전달기관은 기능층의 영률보다 10 배, 100 배, 또는 1000배 높은 영률을 갖는다.

[0194] "굽힘 강성"은 굽힘 모멘트에 소재, 장치 또는 층의 저항을 나타내는 소재, 장치 또는 층의 기계적 특성이다. 일반적으로, 굽힘 강성은 소재, 장치 또는 층의 면적 모멘트(area moment)와 모듈러스의 곱으로 정의된다. 불균일 굽힘 강성을 갖는 재료는 선택적으로 물질의 전체 층에 대한 "벌크" 또는 "평균" 굽힘 강성의 기준에서 설명될 수 있다.

[0195]

[0196] 도9에 장치의 일례가 개략적으로 도시되어있다. 전자 장치(10)는 내표면(30) 및 외표면(40)이 있는 박막 탄성 중합체 기관(20)을 포함한다. 상기 내표면(30)에 의해 지지되는 기능적 전자 장치(50)의 어레이가 도시된다. 곡선 구성(45)으로된 가요성 및 신축성 접속부와 같은 다양한 장치 소자를 상기 어레이는 포함한다. 상기 내표면(30)은 지름(70) 또는 말단들(90)(95) 사이의 길이(80), 또는 체적과 같은 특성 치수를 갖는 봉합부(60)을 한정한다. 내부(60)는 상기 기관(20)이 자유롭게 움직이는 속박되지 않는 말단을 갖지 않기 때문에 폐쇄된 체적으로 간주된다. 대신에, 말단들(80)(90)의 움직임은 제약이 된다. 만약 말단들(80)(90)이 자유롭게 움직일 수 있으면 (튜브가 세로로 절단될 경우와 같이), 상기 장치는 개방형-튜브 체적을 갖는 것으로 간주된다. 내부(60)는 곡면을 갖는 객체를, 손가락과 같은 불규칙적인 형태의 객체도 수용할 수 있다. 바람직하게는, 직경(70)은 내부(60)에 수용되는 객체의 최대 직경보다 약간 더 작다. 상기와 같은 크기차이는 기관(20)이 객체를 수용하기 위해 신축하고, 따라서 기관(20), 기능적 전자 장치(50), 및 내부(60) 안의 객체 표면 사이의 밀접한 등각 접촉을 보장한다. 명료성을 위해, 외표면(40) 상의 장치(50)는 도시되지 않는다. 그러나, 실시예1에서 추가적으로 설명되는 바와 같이, 내표면 장치(50)는 처음에 외표면(40)에 기능적 전자 장치를 인쇄함으로써 제공된다. 이후에 상기 기관 표면은 물리적으로 뒤집히고, 외부는 내부가 되고 그 역도 성립하여, 도9에 도시된 전자 장치(10)를 획득한다.

[0197]

[0198] **실시예 1:** 손가락끝 전자장치를 위한 실리콘 나노멤브레인(nanomembranes)

[0199] 본 실시예는 폐쇄형-튜브 형태, 특히 손가락 끝에 장착하기 위해 형성되는, 박막형 탄성중합체 시트의 내표면 및 외표면 상에 집적할 수 있는 전자 장치 류에 대한 개선된 제조방법 및 특별한 장치 설계, 및 반도체 나노소재들의 용도에 대한 것이다. 이러한 종류의 다기능 시스템은 실리콘 나노멤브레인(Si NM) 다이오드를 사용하는 다층화된 전극 어레이에 의한 전기촉각 자극, Si NM 게이지에 의한 고감도 변형 모니터링, 및 탄성중합체 커패시터에 의한 촉각 감지를 가능하게 한다. 분석 계산과 역학의 유한 요소 모델링(finite element modeling)은 제조/조립, 장착 및 사용하는 동안 주요 동작을 정량적으로 캡처한다. 결과는 필요한 기계적 특성을 달성하는데 있어서 NM 형상의 중요성을 강조하는 설계 지침을 제공한다. 이러한 종류의 기술은 인간-기계 인터페이스에서 '기계화된'수술 장갑과 많은 다른 종류에 이르기까지 응용분야들에 호환된다.

[0200]

컴퓨터 시스템에 대한 터치-기반 인터페이스로 기능을 현저히 확대하여 수술 시뮬레이션, 치료 기기, 로봇트작동 및 기타 분야에 응용할 수 있어, 인간 작동자와 가상 환경 사이의 양방향 정보 링크로서 전기촉각 자극기 및 촉각센서는 관심을 받고 있다[1-5]. 전기촉각 자극은 정보가 일반적으로 진동 또는 따끔함과 같이 인식되는 터치의 인공감각으로서 피부를 통해 정보가 제시될 수 있도록 한다[6, 7]. 상기 반응은 적합하게 변조된 전기전류를 조직으로 통하게 하는 결과로서 피부 물리적자극수용기(mechanoreceptors)의 흥분을 통해 나타난다[8]. 1950년대에 최초로 개발되어 1970년대에 더욱 진보하며, 전기촉각 자극은 기존에는 시각 장애인들을 위한 프로그래밍 가능한 점자 판독기 및 디스플레이나 전정장애로 고통받는 사람들을 위한 균형 제어를 위해 연구되어 왔다[5, 9-12]. 반면에, 촉각 센서는 전기촉각 프로세스와의 피드백 루프 상에서의 잠재적 사용을 위한 보완 정보를 제공하는 방식으로, 물리적 접촉에 의해 생성된 압력을 측정한다. 이러한 맥락에서 중요할 수 있는 추가적인 센서의 종류는 모션 및 온도에 대한 것들을 포함한다. 따라서, 밀접하고 비-침습적으로 손가락끝에 장착될 수 있는 유사-피부 장치는 유용한 성과로 나타날 수 있다. 최근의 가요성 및 신축성 전자장치에서의 발전이 이와

같은 종류의 장치 제조에 대한 기회를 창출하고 있다 [13-17].

[0201]

본원에서는 손가락 끝에 직접적으로 결합되는 탄성중합체 패쇄형-튜브 구조의 내표면 및 외표면에 장착될 수 있는 초박막형, 신축성, 실리콘-기반의 전자장치 및 센서에 대한 재료, 제조 방법 및 장치 설계가 개시된다. 사용 중에 상기 튜브의 자연적 변형에 의해서 뿐만 아니라 손가락끝 모양에 맞도록 특수하게 형성된 튜브가 내외부가 뒤집어지는 제조 과정의 핵심적 단계 동안에 유도되는 큰 변형을 수용할 수 있는 진보된 기계학적 설계를 활성 소자 및 접속부가 결합한다. 상기 '뒤집기' 프로세스는 튜브의 외표면에 처음에 장착된 장치가 손가락에 장착될 때 피부에 대해 직접적으로 압박하는 내표면으로 뒤집어지는 것을 가능하게 한다. 분석적 산출 및 유한요소 모델링 (finite element modeling, FEM)은 플라스틱 변형 또는 부러짐을 피할 수 있는 설계 레이아웃에 대한 정량적 시각을 제공한다. 본 발명은 Si 나노멤브레인 다이오드에 다층화된 전기촉각 전극 어레이, SiNM 게이지에 기반한 변형 센서, 저-모듈러스, 탄성중합체 유전체로된 커패시터를 사용하는 촉각센서 어레이를 포함하는 다기능적 손가락끝 장치로서 상기 개념을 제시한다.

[0202]

**도1**은 신축성, 상호접속된 형상으로 탄성중합체 기판에 Si NM 기반의 장치를 결합하기 위한 단계를 기타 문헌에서 개시된 과정의 적합화된 형태에 따라서 도시한다[13, 18]. 제조 프로세스의 초기 부분에서 임시 기판으로서 100nm 두께의 폴리메틸메타크릴(PMMA)이 코팅된 Si 웨이퍼를 사용한다. 폴리(아믹 산) 전구체를 스핀 코팅하고 250℃ 로 불활성 상태에서 베이킹한 폴리이미드 층 (PI; 1.25  $\mu$ m 두께)은 장치의 지지체 역할을 한다. PI 위에 전기적 활성 물질이 증착(일례로, 금속화)되거나 또는 전사 인쇄(일례로, Si NM) 되고, 포토 리소그래피 및 에칭에 의해 패터닝된다. 장치층 상부에 스핀 주조 및 경화되는 다른 PI층 (1.25  $\mu$ m 두께)은 캡슐화를 제공하고, 장치를 중성역화층(NMP)에 인접하여 위치시킨다. 다음으로, 전체 다층 스택(즉, PI/장치/PI)에 걸친 패터닝된 리액티브 이온 에칭은 개방형 메쉬 구조를 한정한다. 상기과 동일한 프로세스는 전기촉각 자극기 전극의 영역에서 PI를 제거하여, 피부와의 직접적 접촉을 가능하게 한다. 아세톤 조에 담금으로 기저의 PMMA를 씻어 내고, 이에 따라 앞서 기술된 과정을 통해 전체 메쉬가 단일 개체로 폴리디메틸실록산 (PDMS)의 평편한 슬래브 표면 위로 리프트 오프하게 된다 [19, 20]. 메쉬/PDMS 위로 SiO<sub>2</sub> 층을 증발시키는 단계 및 실리콘 타겟 기판 (Ecoflex 0030, Smooth-On, Inc.)을 UV-오존에 노출시키는 단계 (표면에 반응성 -OH기를 생성하기 위함)는 물리적 접촉에 따라 둘 사이의 결합을 가능하게 한다 [21]. (낮은 압력은 PDMS와 손가락-튜브 사이가 접촉이 안되게 하여, 메쉬에만 결합을 가능하게 한다.) **도1c**에 도시된 바와 같이, 스탬프의 제거로 전사 프로세스는 완료된다.

[0203]

전기촉각 전극은 둘 사이의 간격이 250  $\mu$ m인 외부링 (1000  $\mu$ m반경)으로 둘러싸인 내부 디스크 (400  $\mu$ m반경)로 이루어진 동심원적 설계로된 600 nm 두께층의Au를 사용한다. 접속부는 구부러진 형상 (~800  $\mu$ m곡률의 반경)의 100  $\mu$ m너비의 트레이스로 이루어지고; 상기 트레이스는 전기촉각 전극을 Si NM 다이오드 (측면치수 225  $\mu$ m x 100  $\mu$ m 및 두께300 nm)를 연결한다. 1.25  $\mu$ m PI층으로 분리되고 에칭된PI 바이어스로 연결되는 Au 접속부의 두께 층 (200 nm 및 600 nm 두께)은 상부 접속부와 컴팩트 와이어링 스킴을 형성한다. 600 nm 두께의 Au 접속부 층은 PI 바이어스를 통해 안정적인 전기적 연결을 가능하게 한다. 변형 게이지 어레이는 구부러진 형상(~400  $\mu$ m 곡률의 반경)으로 패터닝된 200 nm 두께, 60 nm 너비의 Au 트레이스로 전기적으로 연결된 4개의 Si NMs(측면치수 1 mm x 50  $\mu$ m 및 두께300 nm인 스트립)로 구성된다. 촉각 센서는 200 nm 두께의 Au 전극 및 전기촉각 어레이의 형상의 접속부를 동심원형 전극 쌍을 단일, 디스크-형태 전극 (~1000  $\mu$ m 반경)으로 대체하여 사용한다.

[0204]

본원에서 손가락-튜브로 지칭하는 Ecoflex 기판은 플라스틱 모델 손의 손가락 형태에 구체적으로 부합하는 삼차원 형태를 채택한다. 제조과정은 ~125  $\mu$ m 두께의 컨포멀 시트를 생성하기 위해, Ecoflex 중합체 전구체를 모델의 손가락 위에 붓는 과정 및 상온에서 1시간 동안 경화하는 과정을 포함한다. 상기 시트에 전구체의 제2 코팅을 붓는 과정 및 추가적 1시간 동안 경화하는 과정을 통해 두께는 두 배가 되고; 상기 프로세스를 4회 반복하는 과정은 ~500  $\mu$ m 두께에 도달하게 한다. 모델에서 Ecoflex를 제거하는 단계 및 70℃에서 2시간 동안 가열하여 경화를 완료하는 단계는 자립형 구조인 손가락-튜브를 **도2**에 도시된 것과 같이 형성한다. Ecoflex는 저 모듈러스 (~60 kPa) 및 고 파쇄변형(~900%)으로 상기 목적에 적합한 물질이다. 전자의 특성은 피부에 소프트하

고 밀접한 접촉을 가능하게 하고; 후자의 특성은 앞서 언급된 '뒤집기' 프로세스를 가능하게 하고, 이하 부분에서 정량적 세부사항이 상술된다. 전사 인쇄는 평탄화된 형상으로 가압되면서 장치 메쉬 구조를 손가락-튜브 외 표면에 제공한다 (도2b). 도2c 및 도2d에 도시된 바와 같이, 이후에 전체 집적된 시스템은 내외부가 뒤집히고, 메쉬가 튜브의 외표면에서 내표면으로 이동한다. 다기능 장치는 내부에는 전기촉각 자극기를, 외부에는 변형 게이지 어레이 및 촉각 센서를 포함한다.

[0205]

앞서 서술된 장치 설계는 손가락-튜브의 내부 표면 상의 전자장치 (이 경우에는 전기촉각 자극 전극)가 피부와 밀접한 접촉이 되도록 자연스럽게 누르는 방법으로 손가락에 컨포멀하게되는 장점을 갖는다. 뒤집기 프로세스는 장치 메쉬 역학의 세심한 설계로 가능해지는 중요한 단계를 나타낸다. 정량적 역학 모델링은 중요한 관점을 제공한다. 손가락-튜브는 이차원 대칭으로 자기-평형화된, 축대칭적 튜브로 근사화 될 수 있다. 선형 탄성 쉘 이론(linear elastic shell theory)을 사용한 에너지 최소화는 결과적인 형태를 결정한다. 도3a는 뒤집기 프로세스 동안의 중간 지점에서 다시 자체에 구부러질 때 7.5mm의 반경( $R_{radial}$ ) 및 500  $\mu m$ 의 두께를 갖는 Ecoflex 원통에 대한 분석 및 FEM 결과를 도시한다. 도3a에 나타난바와 같이, 596  $\mu m$ 인곡률의 최소 축 반경은 튜브가 뒤집어 질 때 최대로 유도된 변형의 위치를 정의한다. 도3b의 컬러맵에 도시된 바와 같이, 본 구성의 내표면 및 외표면의 최대 변형은 ~30-40%이다 (stacks.iop.org/Nano 보충파일 참조). 따라서, 상기 장치 메쉬 구조는 상기 범위의 변형을 수용할 수 있어야한다. 상기 요구조건은 실리콘 (과단변형률~1%)과 같은 취약한 물질의 결함으로 인해 본원에 개시된 시스템과 같은 시스템에 있어서 사소하지 않다.

[0206]

이론에 따른 회로 레이아웃은 이러한 요구조건을 만족시키기 위해 확인될 수 있다. 일례로, 도3c는 좁고 구부러진 접촉부의 메쉬 구성으로 다층화된 전기촉각 어레이의 다이어그램을 제공한다. 주황색 및 파란색 영역은 각기 PI 층에 의해 분리된 Au 층에 해당하고; 빨간색 영역은 PIN (p-doped/intrinsic/n-doped) 구성 내의 Si NM (300nm 두께) 다이오드를 지칭한다. 상기 과정 동안 Si 내의 변형을 최소화하기 위해, 다이오드의 단층 치수는 뒤집기 방향에 평행하게 위치한다. 상기 최적화는 Au, PI, 및 Si 각각에 대해 0.051%, 0.10%, 및 0.040% 밖에 안되는 최대 산출 변형에 이르게 한다 (도 3d 참조). NMP의 컴퓨팅된 위치는 또한 도3d에 나타난다. 장치 층들의 모듈러스들은 Ecoflex보다 몇 배 더 크기 때문에, NMP 평면의 위치는 Ecoflex로 부터 거의 독립적이다. PI 층의 두께를 적절하게 선택하는 것은 NMP를 Si NM의 자리에 위치하게 함으로써, 이러한 취약한 물질에 유도된 변형을 최소화한다 [21, 22]. 도3f의 분석적 산출에 도시된 바와 같이, Si NM 다이오드의 두께는 겪게되는 최대 변형에 영향을 준다. 최소값은 NMP가 Si NM 다이오드로부터 가장 가까운 거리에 위치하게 되는 두께에서 생성된다 (즉,  $h_{NMP}$ ). 이러한 최소값의 위치는 또한 일례로 PI 층의 두께를 변화시킴으로써 조절될 수 있다. 변형의 추가적인 감소는 장치의 길이를 감소시킴으로써 실현될 수 있다. 이러한 고려 사항을 부가한 설계를 구현하고 최적화된 구부러진 레이아웃으로 접촉부를 활용함으로써, 견고한 장치 동작을 제조 절차에 걸쳐서 확보한다. 일례로, 도 3e는 뒤집기 프로세스의 이전과 이후의 Si NM 다이오드의 I-V 특성의 간과가능한 변화들을 도시한다.

[0207]

실험 결과는 전기자극 어레이의 예상 기능을 보여준다. 도4a는 내부 점 및 외부링 전극 사이에 인가된 전압 및 주파수의 함수로 건조한 인간 엄지 상의 접촉의 인식을 도시한다(도3d). 자극은 맞춤형된 설정을 사용하여 생성된 20 % 듀티 사이클의 단상, 구형파를 사용했다. 상기 내부체는 가요성 아니소트로픽 도전성 필름(ACF)을 통해 외부 구동 전자장치에 연결하여, 장치의 이미지를 제공한다. 감각에 필요한 전압은 병렬로 연결된 저항 및 커패시터를 포함하는 피부 임피던스의 등가 회로 모델과 일치하여 주파수 증가에 따라 감소한다. 상기 전압의 절대적 크기는 피부 수분 레벨, 전극 설계 및 자극 파형에 많이 의존한다[23]. 도4b는 다중화 다이오드를 통해 측정된 수분이 있는 인간의 엄지와 접촉하는 동안에 전기촉각 전극 쌍의 I-V 특성을 도시한다. 높은 양의 전압에서, 다이오드의 저항은 피부에 비해 무시될 수 있는 정도이고; 여기서, I-V 특성의 기울기는 피부-전극 접촉에 피부를 더한 저항의 추정치를 도출한다. 값 (~ 40 K $\Omega$ )은 기존의 장치를 사용한 측정에 부합하는 범위에 있다 [24, 25]. 다이오드는 피부와 혀에 대한 전기촉각 자극에 충분한 수준인 적어도 20V, 0.25 mA의 전류에 반응하는 정도까지 안정된다.

[0208]

도4c에 개략적으로 나타나는 접근법에 따라서, 상기 다이오드들은 다층화된 어드레싱을 가능하게 한다. 유닛



셀 각각은 하나의 다이오드 및 하나의 전기촉각 전극 쌍으로 구성된다. 도4d는 여섯 개의 전기촉각 채널들 각각을 어드레싱하는데 요구되는 입력값의 표를 제시한다. 일례로, 채널 $S_{DA}$ 는 입력 A 및 E에 높은 전위 (+5 V)를 인가하고, 입력 B, C 및 D에 낮은 전위 (0 V)를 인가함으로써 활성화되고, 상기 채널의 외부링(+5 V) 및 내부링 전극(0 V) 사이에 +5 V 바이어스를 만든다. 도4b에 도시된 것처럼, 상기 구성은 Si NM 다이오드를 순방향 바이어스 시켜서, 자극 전류를 초래한다. 동시에, 채널  $S_{EB}$  및  $S_{EC}$ 는 전극들에 걸쳐서 -5 V 바이어스를 거치게 되어 이 경우에 Si NM 다이오드는 역방향 바이어스되어서, 자극 전류를 방지한다. 채널  $S_{DB}$ ,  $S_{DC}$ , 및  $S_{EA}$ 는 내부 및 외부 전극에 동일한 전위를 갖고, 제로 바이어스를 초래한다. 인접 채널들의 전기적 분리는 내부와 외부 전극 분리(250  $\mu\text{m}$ )가 채널들 사이의 거리(6000  $\mu\text{m}$ )에 비해 더 작은 것에 따른 결과이다. 자극 채널 별로 또는 능동 트랜지스터에 여러 개의 다이오드를 사용하는 진보된 다층화 설계는 본원에 개괄된 제조 프로세스 및 설계 원칙과 호환이 된다.

[0209]

도5는 메쉬 형상의 접속부로 어드레싱되는 변형 게이지로서 일관적으로 균일하게 도핑된 일련의 Si NM를 도시한다. 도5에 요약된 FEM 산출은 단일축 평면상의변형 10% 하에서 Ecoflex 상의 1 x 4 어레이 게이지 (수직 띠; 노란 점선 박스 및 상부 내부체는 개별 장치를 강조) 내의 변형 프로필을 나타낸다. 상기 결과는 전체적 변형이 구부러진 접속부의 모양 및 Ecoflex 자체의 변화로 대개 수용되는 것을 도시한다. 도5a에 내부체으로 도시된 것처럼, 상기 Si NM 게이지는 인가된 변형보다 10배 낮은 변형 ( $\sim 10^{-3}$ )을 겪는다.

[0210]

신축성 있는 형태의 고성능 변형 게이지로 Si NM을 사용할 수 있는 것은 구부러진 레이아웃과 결합된 강력한 압저항(piezoresistance) 특성의 결과이다. 상기 결합된 특성은 인가된 변형에 대한 저항의 분수적 변화를 결정한다. 연관된 유효 게이지 인자 ( $GF_{eff}$ )는 실리콘 게이지의 내재적 게이지 인자,  $GF_{Si} = \Delta R / (R_{\epsilon si})$  여기서  $\Delta R$ 은 저항의 변화, R은 초기 저항,  $\epsilon si$ 는 실리콘의 변형에 관련될 수있는데,  $GF_{eff} = GF_{Si}(\epsilon si / \epsilon app)$  식으로 나타나며 여기서  $\epsilon app$ 는 전체적 통합 시스템에 인가된 변형이다. 본원에 개시된 설계는 1 보다 훨씬 더 작은  $\epsilon si / \epsilon app$  값을 도출하고, 구체적으로 제조, 장착 및 생리학적으로 관련된 변형의 범위 상의 사용과정에서 Si의 파쇄-유도 변형을 피하기 위해서 이다. 도5b는  $GF_{eff} \sim 1$ 에 상응하는  $\epsilon app$ 의 함수로서 실험적으로 측정된 R (1V에서의 측정, 애질런트 4155C 반도체 파라미터 분석기 사용)의 값을 도시한다. 실험 및 FEM 결과를 도5b에 맞추므로써,  $GF_{Si}$ 는  $\sim 95$ 로 다른 유사한 설계로 플라스틱 가요성 시트[26]상의 Si NM 변형 게이지에 대한 최근 보고서와 일관된다. 본원에서는 게이지의 크기 및 구부러진 접속부의 치수와 같은 장치 설계 파라미터가  $GF_{Si}$  만큼 높은 값에서부터 측정이 가능한 변형의 증가된 범위에 상응하는 매우 낮은 값까지  $GF_{eff}$ 를 공학적으로 제어할 수 있음을 강조한다.

[0211]

도5a는 직선 (I) 및 굽은 (II) 위치 상으로 엄지의 꺾임 영역에 인접 위치한 손가락-튜브 상의 변형 게이지 어레이를 도시한다. 굽어지면 상기 게이지는 장력 변형을 겪게 되고 저항이 증가되게 하는데, 도5d에 세 가지 굽히기 주기가 도시된다. 상대적 저항 변화값은 굽힘과 연계된 변형이  $\sim 6\%$ 에 도달하는 것을 제시한다. 예상된 바와 같이, 측면성 동작은 아무런 변화를 일으키지 않는다. 도5e는 엄지의 장골 부분에 인접하여 장착되는 Ecoflex의 박막 시트 상의 유사한 어레이를 도시한다. 여기서, 장치는 표피 전자 시스템 [13]에서 관찰되는 메커니즘과 유사하게 반 데르 발스(van der Waals) 상호 작용에 의해 피부에 부착된다. 도5e의 이미지들은 엄지가 직선(III) 및 옆으로 굽힘(VI) 위치에 있을 때에 상응한다. 도5f는 세 개의 측면성 동작 사이클에 대한 1 x 4 어레이의 반대편 말단 상의 두 개 게이지의 저항 변화를 나타낸다. 사이클 각각에 대해, 오른쪽 끝 게이지의 저항 변화는 압축 변형을 나타내고; 왼쪽 끝은 장력 변형에 상응하여 나타낸다. 상기 결과는 게이지들의 어레이가 세기뿐 만 아니라 동작의 유형도 나타내는데 사용될 수 있음을 제시한다.

[0212]

최종적 제시로, 본원에서는 손가락-튜브 플랫폼에 결합되기에 적합한 촉각(압력) 센서 종류를 제조하였다. 상기 장치는 Ecoflex의 내표면 및 외표면 상의 대향 전극들에 연계된 커패시턴스의 변화를 이용한다. 인가된 압력은 Ecoflex의 두께를 감소시키고, 이에 따라서 상기 구조의 커패시턴스를 증가시킨다. 여기서, 전기촉각 장치

의 레이아웃과 같은 것은 내부 전극으로 기능하고; 외표면 상에 배열된 구성으로 장착된 상기 어레이의 거울 이미지는 유전체로서 Ecoflex와 평행 판 커패시터의 집합을 정의한다. **도6a**는 손 모델의 앞 표면 상의 상기 장치의 어레이를 나타낸다. **도6b** 및 **도6c**는 내부 및 외부 전극 어레이의 이미지를 도시한다. **도6d**는 대표적 장치에 인가된 압력에 따른 커패시턴스의 변화를 나타낸다 (검은 표시). 여기서, 일정한 접촉 면적으로 플랫폼에 주어지는 일련의 무게로 인가되는 압력의 함수로서 커패시턴스가 측정되고(애질런트E4980A LCR 미터), 그라운드 루프를 제거하고 기생 커패시턴스의 효과를 최소화 시킨다. 연구 범위 상에서 대략적으로 선형 양상이 나타났고, 이는 단순 기계학적 모델,  $\Delta C/C_0 = P/(E_{\text{Ecoflex}} - P)$ 과 일관되고, 여기서  $\Delta C$ 는 커패시턴스 변화,  $C_0$ 는 최초 커패시턴스,  $P$ 는 인가된 압력, 및  $E_{\text{Ecoflex}}$ 는 유효 Ecoflex 모듈러스이다. 상기 단순 모델은 유전체 힘에 전기적 일그러짐 또는 변형으로 유도된 변화가 없는 것으로 가정한다 (**도6d**, 검은 선). **도6d** (빨강)에 도시된 것처럼, 푸아송 효과로 인해 상기 장치는 또한 평면 내 변형 ( $\epsilon_{\text{applied}}$ )에 반응하고, 이는 단순 모델  $\Delta C/C_0 = [(EA)_{\text{system}} / (EA)_{\text{electrodes}}] V \epsilon_{\text{applied}}$ 과 일관되며, 여기서 푸아송비( $\nu$ )는 0.496이고,  $(EA)_{\text{system}}$  및  $(EA)_{\text{electrodes}}$ 는 각각 시스템 및 전극의 장력강도이다. 상기 기술 유형은 최근에 보고된 유사한 기능을 제공하지만, 가요성 기관 상에서 도전성 탄소중합체, 탄성중합체 유전체, 또는 유기 트랜지스터 내의 압축성 게이트 유전체에 기반한 장치에 단순한 대안을 제공한다[14,16,18,27,28].

[0213] 본원에 제시된 상기 결과는 손가락에 컴포멀하게 장착될 수 있는 전자장치 및 센서들에 대한 과정 및 설계 방법을 수립한다. 신체의 기타 부속체는 유사한 방법으로 해결될 수 있다. 나아가, 역학 및 제조 상의 대부분의 고려사항이 특정 장치 기능 또는 장착 위치에 영향을 주지 않는다. 결과적으로, 본 개념의 다수는 사용되는 다른 종류의 시스템 및 모드에 일반적으로 적용될 수 있다. 향후의 과제로는 무선 전원 공급 및 데이터 전송에 대한 기능의 발전을 포함한다.

## [0214] 실시예 2: 전자 장치 제조 방법

### [0215] 1. 전기축각 어레이

[0216] a. 1' X 1' SOI 웨이퍼 (110, 300nm Si) 절단 및 아세톤 및 IPA로 세척

[0217] b. p-도핑된 디퓨전 마스크로서 PECVD에 의해 900nm SiO<sub>2</sub> 층 형성.

[0218] c. 디퓨전 마스크를 패터닝: i. 포토레지스트 (PR) AZ5214 패터닝: PR AZ5214 (3000rpm, 30s) 스핀 코트, 프리-베이킹 (110℃, 1min), 마스크와 정렬 및 노출, MIF327 (40s)로 디벨롭, 포스트-베이킹 (110℃, 3min). ii. BOE (buffered oxide etchant) (NH<sub>4</sub>F: HF=6:1)로 1.5분 동안 습식 에칭 및 PR를 아세톤으로 제거.

[0219] d. P-형 도핑: i. Nano-strip<sup>TM</sup> (Cyantek)로 웨이퍼 세척, 보론(boron) 도핑 소스 옆에 위치시킴, 및 30분 동안 용광로(1000℃)에 투입. ii. HF로 SiO<sub>2</sub> 마스크를 완벽히 에칭, 및 n-도핑된 디퓨전 마스크로서 PECVD에 의해 다른 900nm SiO<sub>2</sub> 층 형성. iii. 디퓨전 마스크를 패터닝: 1c와 동일.

[0220] e. N-형 도핑: i. Nano-strip<sup>TM</sup> (Cyantek)로 웨이퍼 세척, 인(phosphorous) 도핑 소스 옆에 1000℃로 10분 동안 위치시킴. ii. HF로 SiO<sub>2</sub> 마스크를 완벽히 에칭 (30초).

[0221] f. Si 필름을 릴리스하기 위한 홀 생성 (3μm 직경, 30μm 간격): i. PR Shipley S1805 (3000rpm, 30s) 스핀 코트, 프리-베이킹 (110℃, 1min), 마스크와 정렬 및 노출, MIF327 (9s)로 디벨롭, 포스트-베이킹 (110℃, 3min). ii. RIE로 Si 에칭 (50 mtorr, 40 sccm SF<sub>6</sub>, 100 W, 1min).

- [0222] g. SOI의 산화층을 언더컷: i. Si 층이 기관에서 분리될 때까지 15~20분 동안 HF 솔루션에 웨이퍼를 담금.
- [0223]
- [0224] h. PDMS 스탬프로 SOI 웨이퍼로부터 Si 필름을 꺼냄.
- [0225] i. 타겟 Si 웨이퍼 준비: i. 폴리메틸메타아크릴레이트(PMMA, 3000rpm, 30s, ~100nm)로 Si 웨이퍼 스핀 코트, 1.5 분 동안 180℃에서 경화. ii. 폴리이미드 전구체 스핀 코트 (4000rpm, 30s) 및 40초 동안 150℃에서 부분적 경화.
- [0226]
- [0227] j. Si를 타겟 Si 웨이퍼에 전사: i. 타겟 웨이퍼에 접촉하도록 스탬프를 누르고, 10초 동안 손으로 힘을 인가. . ii. 110℃에서 열판 위에 스탬프와 타겟 웨이퍼를 배치하고 스탬프의 열팽창이 관찰될 때 스탬프를 천천히 풀어놓음. iii. 추가 5분 동안 110℃에서 열판 위에 타겟 웨이퍼 (Si 필름과 함께) 배치하고 PR을 아세톤으로 제거(2초) iv. 불활성 분위기에서 1시간 동안 250℃에서 베이킹.
- [0228] k. Si 다이오드 분리: i. PR AZ5214 패터닝. iii. RIE로 노출된 Si 를 에칭 (50 mtorr, 40 sccm SF6, 100 W, 1min), 및 아세톤으로 PR을 제거.
- [0229] l. 제1 Au 접속부 층: i. 전자 빔 증발기로 Cr (5 nm)/Au (200 nm) 증착. ii. PR AZ5214 패터닝. iii. Au 및 Cr 습식 에칭. iv. 아세톤으로 PR을 제거.
- [0230] m. 바이어스(vias) PI 절연층: i. 폴리이미드 전구체 스핀 코트(3000rpm, 30s). ii. 열판 상에 프리-베이킹 (150℃, 5min), iii. 불활성 분위기에서 250℃ for 1시간 동안 베이킹. iv. PR AZ4620로 PI 스핀 코트 (3000rpm, 30s), 프리-베이킹 (110℃, 1min), 마스크와 정렬 및 노출, 3:1로 희석된 MIF400로 디벨롭(40초). v. RIE로 노출된 폴리이미드를 에칭 (100W, 150mTorr, 20sccm O2, 20분). vi. 아세톤으로 PR을 제거.
- [0231] n. 제2 Au 접속부 층: i. 전자 빔 증발기로 Cr (10 nm)/Au (600 nm) 증착. ii. PR AZ5214 패터닝. iii. Au 및 Cr 습식 에칭. iv. 아세톤으로 PR을 제거.
- [0232] o. 최종 PI 캡슐화 및 에칭: i. PI 층 형성: 1n과 동일. ii. PR AZ4620 패터닝. iii. RIE로 노출된 폴리이미드를 에칭 (100W, 150mTorr, 20sccm O2, 50min)하여 PI 메쉬 구조를 형성. iv. 아세톤으로 PR을 제거.
- [0233]
- [0234] p. 전사 인쇄: i. PMMA를 언더컷하기 위해 가열된 아세톤조에 장치를 담금 (100℃). ii. 장치와 접촉하도록 PDMS 스탬프를 누르고 장치를 스탬프위로 전사하기 위해 빠르게 제거. iii. e-빔 증발기로 Cr (5 nm)/SiO2 (20 nm) 증착. iv. 4분 동안 타겟 기관(Ecoflex 손가락 튜브)을 자외선/오존(UV-O) 처리. v. Ecoflex에 PDMS 스탬프를 누르고 스탬프를 천천히 제거.
- [0235] **2. 변형 게이지 어레이**
- [0236] a. 1' X 1'(110) SOI 웨이퍼 (300nm Si) 절단 및 아세톤 및 IPA로 세척.

- [0237] b. P-형 도핑: 도핑 시간 4분으로 1d와 동일.
- [0238] c. Si를 타겟 웨이퍼에 전사 인쇄: 1f-j와 동일.
- [0239] d. Si 변형 게이지 분리: 1k와 동일
- [0240] e. Au 접속부 층: 1l와 동일.
- [0241] f. 최종 캡슐화: 02 RIE 30분으로 1o와 동일.
- [0242] g. 전사 인쇄: 1p와 동일.
- [0243] **3. 접촉센서 어레이**
- [0244] a. 1' X 1' Si 웨이퍼 절단 및 아세톤 및 IPA로 세척.
- [0245] b. PMMA (3000 rpm, 30s)를 희생층으로서 스핀 코트.
- [0246] c. 폴리이미드층을 기판으로서 형성: 1m과 동일.
- [0247] d. Au 접속부 층: 1l 과 동일.
- [0248] e. 최종 캡슐화: 2f와 동일.
- [0249] f. 전기촉각 전극과 오버레이하는 전사 인쇄: 1p와 동일.
- [0250] 본원에서 제시한 장치 및 방법에 유용한 센서 및 액추에이터를 제조하는 다양한 방법의 개요가 도10 내지 도13에 요약되어 있다.
- [0251] **역학적 모델링:** 뒤집기 프로세스 동안의 다층화된 전기촉각 어레이의 변형.  $R_{finger}$  반경을 갖는 손가락 모델 상에서  $t_{sub}$  두께를 갖는 탄성중합체 Ecoflex 손가락-튜브가 두 차례 뒤집힌다. 도8은 뒤집기 프로세스 동안의 자기-평형적, 축대칭적 Ecoflex 튜브를 도시하고; AB는 플라스틱손 표면과 접촉 상태에 있는 원통형 부분을 나타내고; 외표면 DE 또한 원통형이고; 상기 두 가이 사이의 전환은 반원 BC (도8에서 결정되는 반경  $R_1$ 을 갖음) 및 사인 곡선 CD (반 파장  $L$  이 결정됨)에 의해 근사될 수 있다. 도8에 도시된 프로파일에서, 선형 탄성 쉘 이론은 굽힘 에너지 및 멤브레인 에너지를 도출한다. 이 때, 총 에너지의 최소화가  $R_1$  및  $L$ 을 도출한다.  $R_{finger}$  7.5mm 및  $t_{sub}$  500  $\mu m$ 에 대해서, 에너지 최소화는 Ecoflex의 푸아송비  $\nu$  0.496 에 대해 굽힘 반경  $R_1$  596  $\mu m$  및  $L$  2.47mm를 도출한다. Ecoflex의 최대 장력 및 압축 변형은 tensile 34.4% 및 compressive 49.5%으로서, 이는 FEM 결과 (tensile 35.1% 및 compressive 46.9%)에 잘 부합한다.

[0252]

다중화된 전기촉각 어레이는 다수의 층으로 된 복합빔으로서 설계된다. 상기 분석 모델에서 획득된 굽힘 모멘트 및 멤브레인은 다중화된 전기촉각 어레이에 추가된다. 상기는 상대적으로 긴 Si 다이오드에 대한 FEM에서 타당성이 있는 것과 같이, Si 및 Au의 최대 변형의 분석적 표현을 제시한다. 상대적으로 짧은 Si 다이오드에서는, 분석적 표현은 Si 및 Au의 최대 변형을 기준보다 높게 산출한다.

[0253]

촉각(압력) 센서의 역학적 분석: 내부 점 및 외부링 전극은 병렬 커패시터의 쌍을 형성한다. 커패시턴스 변화는 Ecoflex 유전체의 두께 감소를 초래하는 인가된 압력에 관련되며, 여기서 단일축 신축에 따른 Ecoflex 유전

체의 유효 모듈러스는  $\bar{E}_{ecoflex} = (1-\nu)E / [(1+\nu)(1-2\nu)]$ 이며,  $E=60$  kPa는 Ecoflex의 영률이다. 도6d에 도시된 것처럼, 식(S1)은 실험에 잘 부합한다.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{P}{\bar{E}_{ecoflex} - P}, \quad (S1)$$

[0254]

[0255]

[0256]

인가된 인장 변형  $\epsilon_{applied}$ 에 대해서, 전극 사이의 Ecoflex 유전체의 변형은 시스템의 인장 강도  $(EA)_{system}$  및 전극의 인장강도  $(EA)_{electrodes}$ 에  $\epsilon_{applied}$ ,  $(EA)_{system}$ ,  $(EA)_{electrodes}$ 에 의해 연관된다. 압력센서 어레이의 단일 요소의 커패시턴스 변화는 또한 하기식으로 주어지는 Ecoflex 유전체 두께의 감소에 의해 결정된다.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{(EA)_{system}}{(EA)_{electrodes}} \nu \epsilon_{applied}. \quad (S2)$$

[0257]

## 실시예1-2 참조문헌

[0258]

1. Barfield W, Hendrix C, Bjorneseth O, Kaczmarek K A and Lotens W 1995 *Presence-Teleoperators and Virtual Environments* 4 329

[0259]

2. Matteau I, Kupers R, Ricciardi E, Pietrini P and Ptito M 2010 *Brain Research Bulletin* 82 264

[0260]

3. Tan H Z, Durlach N I, Reed C M and Rabinowitz W M 1999 *Perception & Psychophysics* 61 993

[0261]

4. Sparks D W, Kuhl P K, Edmonds A E and Gray G P 1978 *Journal of the Acoustical Society of America* 63 246

[0262]

5. Danilov Y P, Tyler M E and Kaczmarek K A 2008 *International Journal of Psychophysiology* 69 162

[0263]

6. Kaczmarek K A, Webster J G, Bachyrita P and Tompkins W J 1991 *Ieee Transactions on Biomedical Engineering* 38 1

[0264]

7. Lozano C A, Kaczmarek K A and Santello M 2009 *Somatosens. Mot. Res.* 26 50

[0265]

8. Warren J P, Bobich L R, Santello M, Sweeney J D and Tillery S I H 2008 *Ieee Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 16 410

[0266]

9. Bach-y-Rita P, Tyler M E and Kaczmarek K A 2003 *International Journal of Human-Computer Interaction* 15 285

[0267]

10. Jones L A and Safter N B 2008 *Human Factors* 50 90

[0268]

- [0269] 11. Vuillerme N, Pinsault N, Chenu O, Demongeot J, Payan Y and Danilov Y 2008 *Neuroscience Letters* 431 206
- [0270] 12. Vidal-Verdu F and Hafez M 2007 *Ieee Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 15 119
- [0271] 13. Kim D H *et al.* 2011 *Science* 333 838
- [0272] 14. Lipomi D J, Vosgueritchian M, Tee B C, Hellstrom S L, Lee J A, Fox C H and Bao Z 2011 *Nature Nanotech.* 6 788
- [0273] 15. Rogers J A and Huang Y G 2009 *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106 16889
- [0274] 16. Someya T, Sekitani T, Iba S, Kato Y, Kawaguchi H and Sakurai T 2004 *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 101 9966
- [0275] 17. Rogers J A, Lagally M G and Nuzzo R G 2011 *Nature* 477 45
- [0276] 18. Kim D H *et al.* 2011 *Nat. Mater.* 10 316
- [0277] 19. Meitl M A *et al.* 2006 *Nat. Mater.* 5 33
- [0278] 20. Yu J and Bulovic V 2007 *Appl. Phys. Lett.* 91
- [0279] 21. Kim D H *et al.* 2008 *Science* 320 507
- [0280] 22. Rogers J A, Someya T and Huang Y G 2010 *Science* 327 1603
- [0281] 23. Kaczmarek K A and Haase S J 2003 *Ieee Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 11 9
- [0282] 24. Woo E J, Hua P, Webster J G, Tompkins W J and Pallasareny R 1992 *Medical & Biological Engineering & Computing* 30 97
- [0283] 25. Hua P, Woo E J, Webster J G and Tompkins W J 1993 *Ieee Transactions on Biomedical Engineering* 40 335
- [0284] 26. Won S M *et al.* 2011 *Ieee Transactions on Electron Devices* 58 4074
- [0285] 27. Someya T *et al.* 2005 *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 102 12321
- [0286] 28. Takei K *et al.* 2010 *Nat. Mater.* 9 821

[0287] 실시예3: 부속체에 장착가능한 생물 표면에 컨포머블하는 전자 장치

[0288] 도14 내지 도17은 손가락 또는 손가락끝에 해당하는 부속체를 포함하는 부속체에 장착가능한 전자 시스템의 일례를 개략적으로 개괄한다. 도14(A-C)는 부속체에 장착가능한 전자 시스템(10)의 상이한 도면을 평면도(A), 측면 단면도(B), 및 일단에서의 단면도(C)로 제공한다. 도14의 여러 도면에 따르면, 상기 시스템(10)은 내표면(30) 및 외표면(40)을 갖는 가요성 및 신축성 기관(20)을 포함한다. 상기 일례에서, 상기 전자 장치(50)는 외표면(40)에 의해 지지되는 복수의 가요성 또는 신축성 센서(54) 및 내표면(30)에 의해 지지되는 복수의 가요성 또는 신축성 액츄에이터(55)를 포함한다. 상기 전자장치는 필요한 기능 및 작동 특성을 제공하기 위해 다양한 소자들을 더 포함한다. 일례로, 도14는 링-형태 전극 내에 동심원적으로 내부에 디스크-형태전극을 갖는 전극(54)과 같은 더욱 고정된 소자 (일례로, 고정장치 아일랜드)와 전기적으로 연결되는 곡선 또는 구부러진 구성의 전기적 접속부(53)를 도시한다. 도14B 및 도 14C에서 제공되는 단면도는 전자장치(50)가 내표면(30), 외표면(40), 또는 두 가지 표면 모두에 의해 지지될 수 있음을 도시한다. 선택적으로, 상기 전자 장치는 외표면에 의해 지지되는 촉각 센서와 같은 센서(54)의 어레이 및 내표면(30)에 의해 지지되는 전기촉각 자극기와 같은 자극기들(55)의 어레이를 부속체의 표면과 상호작용하기 위해 포함한다.

[0289] 봉합부(60)는 내표면(30)에 의해 한정된다. 도15에 따르면, 봉합부(60)는 부속체의 표면(62)이 기관(20)의 내



표면(30)과 등각접촉을 하는 것과 같이 부속체(61)를 수용한다. 도15는 외표면(40)의 전자 장치(50)를 도시하고, 외부 표면(63)에 대한 접촉력 또는 압력과 같은 촉각 파라미터를 측정하기 위한 촉각 센서와 같은 외표면 지지된 센서를 갖는 시스템(10)이다. 선택적으로, 상기 기관(20)은 봉합부(60)내의 부속체(61)를 수용하기 위해 신축성을 작을 수 있다. 선택적으로 상기 봉합부는 부속체를 수용하기 위해 신축성이 없을 수 있다.

[0290]

비교를 위해, 도16은 기관(20)의 내표면(30)에 의해 지지되는 전자 장치를 갖는 시스템(11)을 도시한다. 상기 전자 장치는 봉합부 내의 부속체의 살아 있는 조직과 상호작용하는 전기 촉각 자극기 또는 대상 부속체의 파라미터 (일례로, 온도, 수분함유)를 측정하는 센서일 수 있다. 도15 및 도16의 오른 편의 패널들은 부속체의 수용에 따른 봉합부 형태의 변화 측면을 시스템(10)의 일단에서의 단면도에서 도시된 것처럼 보여준다. 필요에 따라, 하나 이상의 장벽 또는 캡슐화층(21)은 외표면의 의해 지지 되는 장치들 (도15 의 오른편 상단 도시) 및/또는 내표면에 의해 지지되는 장치들을 포함하는 센서 및/또는 액추에이터와 같은 전자 장치의 적어도 일부를 캡슐화한다.

[0291]

외표면에 장착된 센서의 유용한 일측면은 외표면(63)과 상호작용하기 위한 것이다. 촉각 센서인 센서(54)에 있어서, 상기 촉각 센서 인터페이스는 센서(54)와 외표면(63) 사이의 접촉력 또는 압력 측정을 제공한다. 온도, 광도, pH 또는 본원에 개시된 다른 종류와 같은 센서에 있어서, 센서는 센서의 기능에 해당하는 출력값을 제공한다. 일반적으로 이는 "외부 인터페이스" 또는 외부 인터페이스 파라미터로 지칭되며, 참조번호 64로 지칭된다. 대조적으로, 도16에 따르면, 내표면에 의해 지지되는 액추에이터(55)은 봉합부 내의 부속체의 살아 있는 조직과 상호작용할 수 있다. 일반적으로 이는 "내부 인터페이스" 또는 내부 인터페이스 파라미터로 지칭된다. 일측면에서, 본원에서 제시된 임의의 시스템은 외부 인터페이스(도15), 내부 인터페이스(도16), 또는 두 가지 외부 및 내부 인터페이스 (도15 및 도16의 조합이며, 도14B 및 도14C의 전자장치로 지칭됨)를 위해 제공된다.

[0292]

본원에서 제시된 임의의 장치 제조 방법의 일례는 도17에 개략적으로 도시된다. 도17A는 봉합부(60)에 의해 한정되는 내표면(30)이 있는 기관(20)의 외표면(40) 상에 지지되는 전자장치(50)를 갖는 부속체에 장착가능한 전자시스템(10)을 도시한다. 상기 봉합부(60)는 직경(70) 또는 말단들(90, 95) 사이의 길이, 또는 60의 체적과 같은 특성 치수에 의해 설명될 수 있다. 실시예에서, 직경(70)은 내부 (60)에 의해 수용되는 객체의 최대 지름보다 약간 작다. 상기와 같은 크기 차이는 기관(20)이 객체를 수용하기 위해 신축하고, 따라서 기관(20), 전자장치(50), 및 내부 봉합부(60) 내의 부속체 표면 사이의 밀착된 등각 접촉을 보장한다 (일례로 도15-16 참조).

[0293]

도17B는 외표면(40)을 내표면(41)으로 뒤집는 기관면 뒤집기 힘(210)의 적용을 도시하고, 이에 대응하여 도17C는 내표면(30)이 외표면(31)으로 뒤집힘을 도시한다. 도17D는 새로운 외표면이 다른 전자 장치를 수용할 수 있음을 도시하고, 장치의 제1 어레이(271)가 외표면에 의해 지지되고, 장치의 제2 어레이(272)가 내표면에 의해 지지되어 다기능 시스템(12)을 제공하는 것을 나타낸다.

[0294]

도18은 본원에서 개시된 임의의 시스템을 제조하는 일 실시예에 대한 프로세스 흐름 개요이다. 단계(1800)에는 기관의 내표면에 의해 한정되는 봉합부를 갖는 가요성 및 신축성 기관이 제공된다. 기관 외표면에 전자장치가 제공된다 (1810). 상기 장치는 장벽층에 의해 부분적으로 캡슐화될 수 있다. 활용분야에 따라서, 부속체는 상기 봉합부 내에 위치할 수 있고, 1820에 기술된 바와 같다. 이후에 상기 장치는 표면 감지와 같은 분야에서 봉합부 외부에 있는 객체와 인터페이스하는데 사용될 수 있다. 대안적으로, 만약 상기 시스템이 부속체와 인터페이스하기 위한 것이라면, 뒤집기(1830)이 실행될 수 있고, 이에 따라서 상기 전자장치는 내표면에 위치하게 된다. 만약 부속체와의 인터페이스만이 요구된다면, 단계(1840)이 이어진다. 대안적으로, 1850에 도시된 것과 같이 다른 전자장치가 외표면에 제공될 수 있고, 선택적으로 장벽층에 의해 적어도 부분적으로 또는 완벽하게 캡슐화된다. 이러한 방식으로, 외부 및 내부 인터페이싱을 위해 듀얼 기능성이 확보된다 (1860). 대조적으로, 1820은 외부 인터페이싱만을 위한 것이고, 1840은 내부 인터페이싱 만을 위한 것이다. 본원에 개괄된 바와 같이, 임의의 전자장치가 다양한 금속 및 반도체 소자의 전자 인쇄와 같은 방법을 통해 표면에 제공되고, 바람직하게는 굽힘과 신축을 수용할 수 있는 레이아웃 상의 박막형 소자들이 제공된다.

[0295] 도20은 부속체 또는 모형 또는 그 몰드에 해당하는 객체(1900)를 제공하여 본원에서 개시된 임의의 시스템을 제조하는 또 다른 실시예의 공정흐름개요이다. 전자 장치는 상기 객체(1910)의 표면에 제공된다. 프리폴리머 또는 다른 기관-전구체가 객체 표면 및 전자장치(1920)에 대하여 캐스트(cast)된다. 활용 분야에 따라서, 이후 상기 장치는 사용준비(1930)가 되거나 또는 외부 기관(1940) 상에 또 다른 전자 장치를 수용할 수 있다. 단계들(1950, 1960, 1970)에 도시된 것 처럼, 외부 표면에 인쇄하는 단계는 1910 단계에서 제시된 객체에서 제거를 하기 전 또는 후가 될 수 있다.

[0296] 실시예 4: 외표면 및 내표면 상의 촉각센서

[0297] 또 다른 실시예에서, 본원에서 제공되는 임의의 시스템은 내표면 및 외표면 모두 상에 전자 장치가 있고, 여기서 내표면 및 외표면은 압력 또는 힘 센서를 기능적으로 제공하는 것과 같이 서로 소통이 가능하다. 일 실시예에서, 상기 소통은 한 쌍의 대향하는 전극들의 전기적 소통이다. 또 다른 기능적 소통의 예시는 직접적 전기 접촉을 포함하고, 여기서 일 표면 상의 장치로부터의 출력값은 외표면 상의 장치에 제공된다. 또 다른 측면에서, 상기 장치는 상호 간에 열 공급원과 열 또는 온도 센서 사이와 같은 열 접촉 관계에 있다.

[0298] 본 발명의 일 측면은 두 개의 대향 전극들 사이 물질의 두께 변화에 기반한 접촉력 또는 압력에 대한 정보를 제공하는 촉각센서이다. 실시예는 커패시턴스 또는 열감지에 기반한 압력센서를 포함한다. 도19에 따르면, 제1 전자장치(610) 및 제2 전자장치(620)은 탄성중합체 기관(20)의 내표면 및 외표면에 의해 지지된다. 편의 상으로, 상기 시스템의 측면 단면도의 일부분만이 도19에 도시되고, 제1 전자장치(610) 어레이에 인접하여 부속체(도시 안됨)에 등각접촉하는 봉합부 체적을 포함한다. 편의 상으로, 도19는 전극들(610, 620)으로된 전자 장치를 예시로 한다. 전기접속부(640(제1 복수의 전자접속부), 650(제2 복수의 전자접속부))는 각 전극에 대하여 독립적이거나 또는 다중화된 구성으로서 전기적 접속을 제공한다. 상기 접속부는 여러 번 구부러진 형상과 같은 굽어진 구성일 수 있다. 상기 접속부는 제1 및 제2 캡슐화 층들(660, 670)에 각각 임베디드될 수 있다. 선택적으로, 장벽층(680)은 상기 접속부들을 상호간에 및/또는 외부로부터 전기적으로 더 분리하는데 사용된다. 상기 장벽층 및 캡슐화층 위치는 필요한 응용분야에 따라 부분적으로 결정된다. 일례로, 센서 및 열원의 위치에 따라서, 열 장벽층으로된 장벽층은 열공급원/열센서 및 부속체/외부 사이에 위치할 수 있다.

[0299] 전자 장치, 일례로 열 센서/열공급원, 또는 전극들(610, 620)은 상호 간에 공간적으로 정렬이 되고 한정된 두께(630)을 갖는 탄성중합체 기관(20)에 의해 분리될 수 있고, 이로써 두께(630)에 따라 달라지는 커패시턴스를 갖는 커패시터를 기능적으로 형성한다. 이런 방법으로, 상기 두께(630)의 변화에 기관하여 압력 및 힘을 측정하는 압력 또는 힘 센서가 제공된다. 일측면에서, 탄성 소재로 형성된 기관(20)이 인가된 접촉력 또는 압력에 따라서 두께를 변화하는 것이 중요하다. 바람직하게는, 반응 특성이 양면검용이고 기본 두께에 최소한의 변화로 압축되고 비압축상태로 되돌아 가는 것으로 상기 소재는 탄성중합체성을 갖는다. 탄성중합체 소재는 더 정확하고, 견실하고, 신뢰할 수 있는 힘 또는 압력의 측정치를 제공하도록 가능하게 한다. 힘과 압력은 일반적으로 상호호환가능하도록 사용되고,  $F=P/A$  공식에 의해 상호 산출될 수 있고, 여기서 F는 힘(Newtons), P는 압력(Pascals), 및 A는 압력이 인가된 범위( $m^2$ )이다. 기능적으로, 열기반 시스템은 두께의 감소가 온도 상승을 초래하는 것을 제외하고는 유사한 배열을 갖는다. 유사하게, 광원 또는 광감지기가 채택될 수 있는데, 광전송은 기관 두께에 따라 달라진다. 이와 같은 방법으로, 본원에서 제공되는 임의의 시스템은 인가된 힘의 접촉 면적 영역에 따라 공간적으로 달라지는 압력을 포함하는 외부 표면에 또는 표면으로부터 인가된 전압과 같은 촉각 정보를 제공하기 위해 앞서 참조된 압력 센서를 포함할 수 있다.

[0300] 내표면(610)과 외부 전자장치(620) 사이의 정렬 정도에 대해 허용의 여지가 있으며, 알려진 힘 또는 압력을 인가하고 커패시턴스의 결과적 변화(일례로, 도6(d) 참조), 온도 또는 광전송을 관찰함으로써 시스템은 용이하게 조정된다. 일측면에서, 상기 기관은 내부를 향하는 전자장치로서 외부를 향하는 전자장치를 외표면에 인쇄하는 동안 정렬을 용이하게 하기 위해 적어도 부분적으로 반투명 또는 투명하다.



- [0301] 정렬된 전극 어레이 쌍들을 사용하여 커패시터 어레이를 제공하고, 이로써 상이한 커패시터들에 의해 감지된 기판 두께(630)의 공간적으로 달라지는 변화에 의하여 시스템 표면 상의 힘 또는 압력의 분포를 감지하도록 한다.
- [0302] 참조로 포함된 것과 용어에 관한 내용
- [0303] 본 출원 전반에 걸쳐 참조로 사용된 인용문헌들, 일례로 발행 또는 등록된 특허나 그에 준하는 특허 서류들, 특허출원공보, 비특허 문헌 또는 그 외 근거자료들은, 개별적으로 포함되어 있으나 각각의 참조가 최소한 본 출원의 개시 내용과 부분적인 불일치가 없는 한 온전히 본 문서에 포함된다 (일례로, 부분적인 불일치를 포함하는 참조는 일치하지 않는 부분을 제외하고 참조로 포함된다).
- [0304] 본 명세서에 사용된 용어와 표현들은 한정이 아닌 설명을 위해 사용된 것이고, 이 용어와 표현들의 사용은 본 명세서에서 보여지거나 설명된 특징 이나 부분의 등가물을 배제하기 위해 사용된 것이 아니다. 그러나 보호받아야 하는 발명의 범위 안에서 다양하게 수정이 가능하다. 따라서, 본발명이 본 명세서에 개시된 개념에 관한 최적실시에, 개략적인 실시예, 추가적인 특징들, 수정과 변수에 의해 특정되긴 하였지만 당업자에 의해 수단으로 사용될 수 있음이 이해되어야 한다. 그리고 이러한 수정과 변수들은 첨부된 청구항에 의해 정의된 것과 마찬가지로 본 발명의 권리범위 안에 포함되는 것으로 간주한다. 본 명세서에서 제공하는 특정 실시예들은 본 발명에서 사용가능한 실시예들이고, 이들은 당업자에게 있어 본발명은 본발명에서 설명된 장치들, 장치의 구성요소들, 방법들의 수많은 변화를 통해서 수행될 수 있음이 자명 할 것이다. 당업자에게 자명한 것처럼, 본원발명의 유용한 방법들과 장치들은 수많은 추가구성과 절차에 필요한 요소와 단계들을 포함할 수 있다.
- [0305] 본 명세서에 개시된 치환기 그룹은, 그에 포함된 개별요소들과 모든 하위그룹이 각기 따로 개시된 것으로 본다. 본 명세서에서 사용된 마쿠쉬 그룹 또는 다른 그룹들, 그 그룹의 모든 각각의 구성요소들, 그룹안에서 나올 수 있는 모든 조합과 부조합들은 본발명의 개시내용에 개별적으로 포함되기 위한 것이다. 당업자는 같은 화합물들에 대해 다른 이름을 붙일 수도 있는 것이 알려져 있는 만큼, 화합물들의 특정 이름들은 예시적으로 사용된 것이다.
- [0306] 본 명세서에서 설명되거나 예증된 모든 공식과 구성요소들의 조합은 특별한 제제가 없는 한 발명의 실시를 위해 사용될 수 있다.
- [0307] 본 명세서에, 일례로 물리적 특성의 범위, 크기 범위, 온도 범위, 시간 범위 또는 조성물 또는 농도 범위 등의 범위가 주어진 경우, 모든 중간 범위 및 하위 범위들은 그 범위에 포함된 각각의 주어진 수치들과 마찬가지로 본 발명의 개시 내용에 포함되는 것이다. 본 명세서의 상세한 설명에 포함된 범위나 하위 범위에 속한 어떤 하위 범위들이나 개별값들은 본 발명의 청구항에 명시되지 않을 수도 있다.
- [0308] 본 명세서에서 언급된 모든 특허 및 공보들은 본 발명에 관계된 해당 업자들의 지식수준에 준한다. 본 명세서에서 인용된 참고문헌들은 그것들의 공보시점이나 출원된 시점에서의 최신기술을 나타내기 위해 참고 사항으로 본 명세서에 포함되며, 이 정보들은 필요에 따라 선행기술의 특정 실시예를 배제하기 위해 사용될 수 있다. 일례로, 물질의 구성에 대해 보호받고자 할 때, 출원인의 발명에 선행하고, 본 발명에서 인용된 참조에 실시가능성이 제공된 알려지거나 사용가능한 화합물들은 이 건 발명의 물질 청구항의 구성에 포함되는 용도로 사용되는 것이 아니다.
- [0309] 본 명세서에서 사용된 표현인 "구비하는"은 "포함하는", "함유하는", 또는 "특징을 가지는"과 동의어이며, 추가

적이며 인용되지 않은 요소나 방법의 단계들을 배제하지 않는 포괄적이거나 열린 의미의 표현이다. 본 명세서에서 사용된 표현인 "구성된"은 청구항에서 특정되지 않은 어떠한 요소, 단계 혹은 성분은 포함하지 않는 표현이다. 본 명세서에서 사용된 표현인 "필수 구성요소로 이루어진"은 청구항의 기본적인 신규한 특징들에 실질적인 영향을 끼치지 않는 원료나 단계들을 배제하지 않는 의미로 사용된다. 본 명세서에서 사용된 예시에서 용어 "구비하는", "구성된" 및 "필수구성요소로 이루어진"은 상호 대체 가능하다. 본 명세서에서 적절하게 예시적으로 묘사된 발명은 본 명세서에서 구체적으로 개시되지 않은 어떤 요소나 요소들 혹은 한정과 한정들 없이도 실시될 수도 있다.

[0310]

[0311]

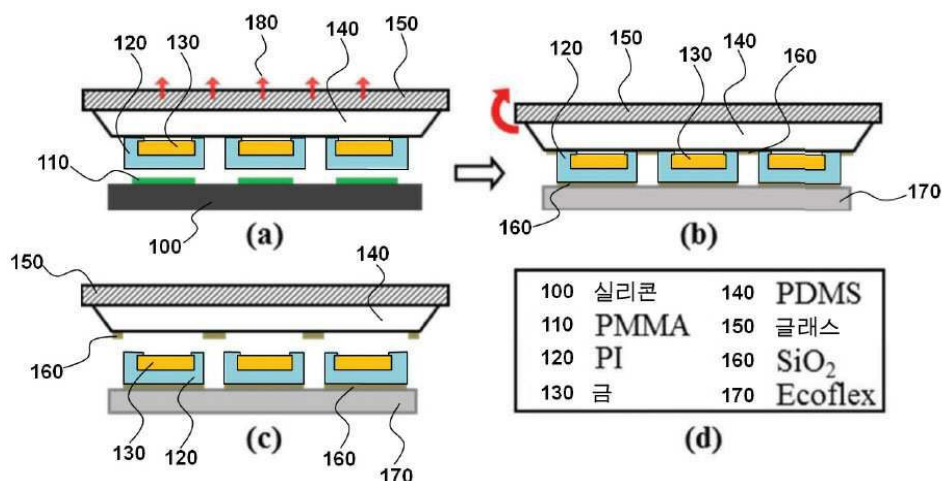
당업자는 구체적으로 실증된 것 이외의 출발물질, 생물학 원료, 시약, 합성방법, 정제방법, 분석방법, 분석법 및 생물학적 방법들이 본 발명의 실시예에 사용될 수 있을 수 있음을 수행되지 않은 실험에 관한 개시가 없어도 이해할 것이다. 해당 원료들과 방법들에 해당하는 모든 업계내 알려진 기능적 등가물들은 본 발명에 해당된다. 본 명세서에서 사용된 용어나 표현들은 상세한 설명의 조건들로 사용되었으며, 한정을 위해 사용된 것이 아니다. 그리고 본 명세서에서 나타내는 특징이나 묘사, 혹은 본 명세서의 부분에 있어 이러한 용어나 표현들의 사용은 어떠한 등가물을 배제하는 용도로 사용된 것이 아니다. 하지만 본 발명의 권리범위 안에서 다양한 수정이 가능하다. 따라서, 본 발명이 최적실시예와 선택적인 특징, 본 명세서의 개념에 대한 수정 및 변수들에 관해 개시된 내용으로 인해 구체적으로 개시되어 있긴 하지만 당업자에 의해 사용될 수 있으며, 이러한 수정과 변수들은 본 명세서에 첨부된 청구항들에 의해 규정되는 본 발명의 권리범위 안에 포함되는 것으로 간주된다.

[0312]

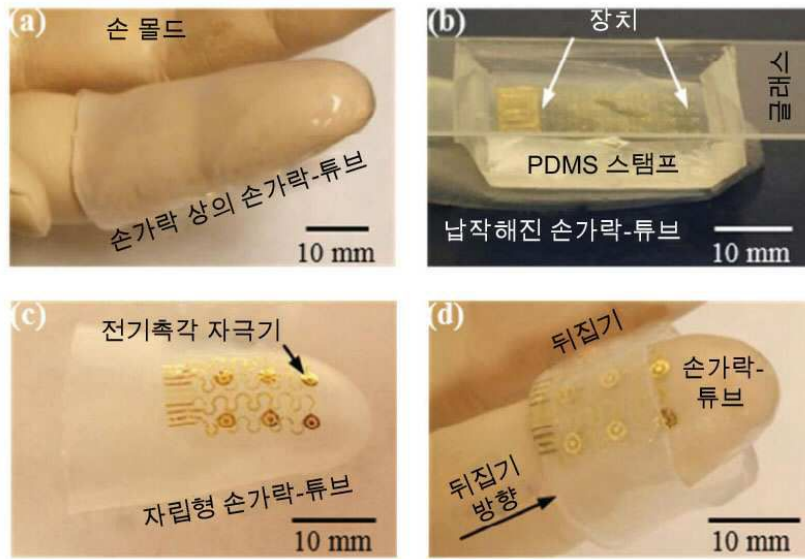
다음 특허 또는 특허출원들은 참조로서 온전히 본 명세서에 포함된다: 7,195,733; 7,622,367; 7,557,367; 7,799,699; 7,943,491; 7,521,292; 8,367,035; 8,217,381; 7,932,123; 7,972,875; 8,198,621; 7,704,684; 7,982,296; 8,039,847; 7,705,280; 2010/0002402; 2010/0052112; 2010/0317132; 2012/0105528; 2012/0157804; 2008/0055581; 2011/0230747; 2011/0187798; 2013/0072775; 13/624,096 (2012년 9월 21일 출원)

## 도면

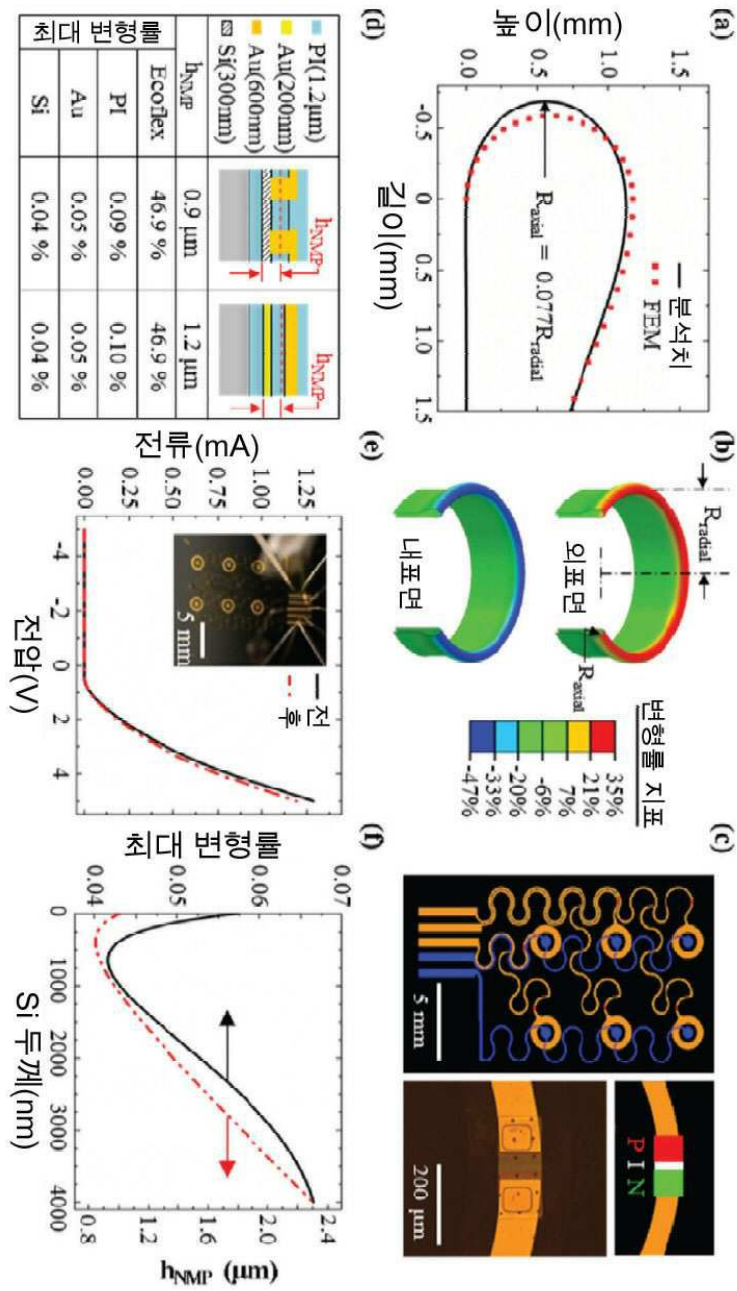
### 도면1



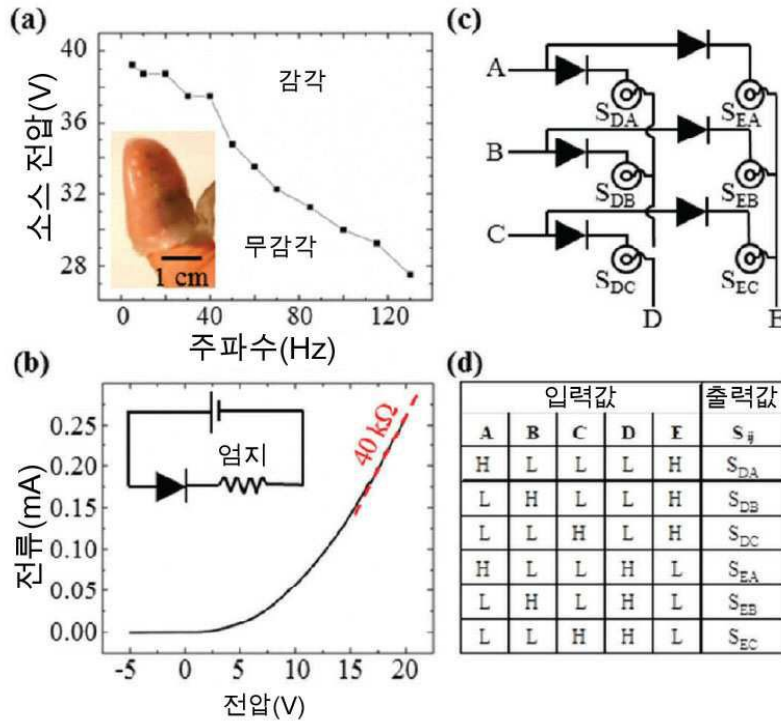
도면2



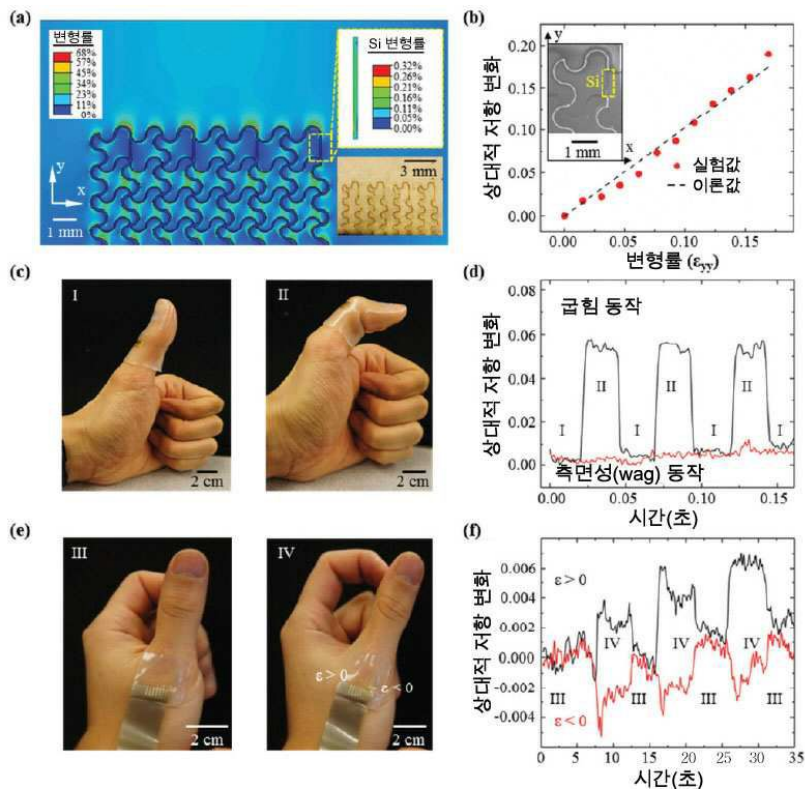
도면3



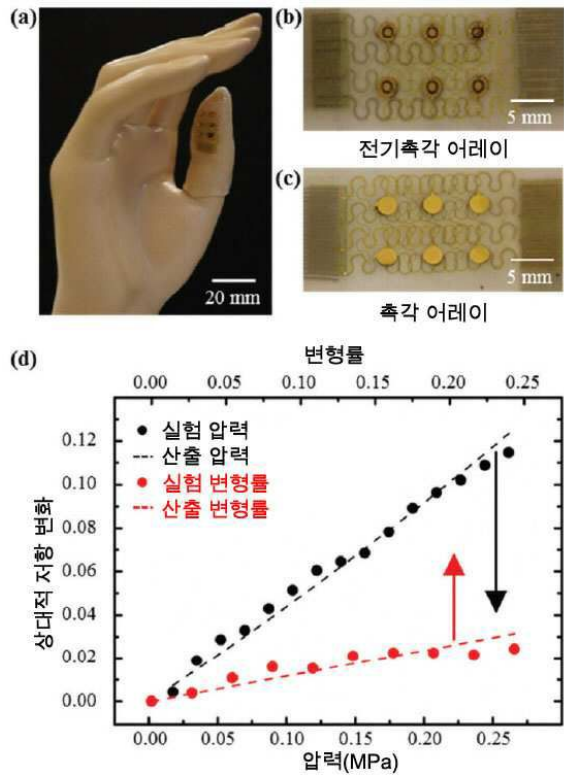
도면4



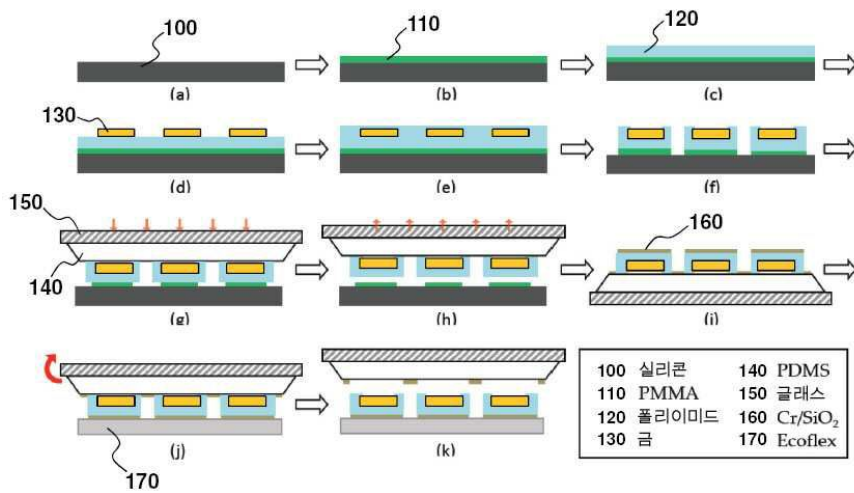
도면5



도면6

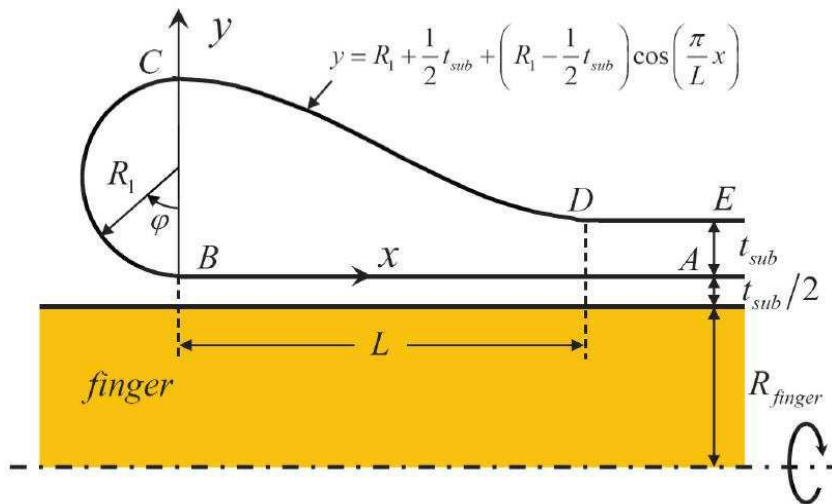


도면7

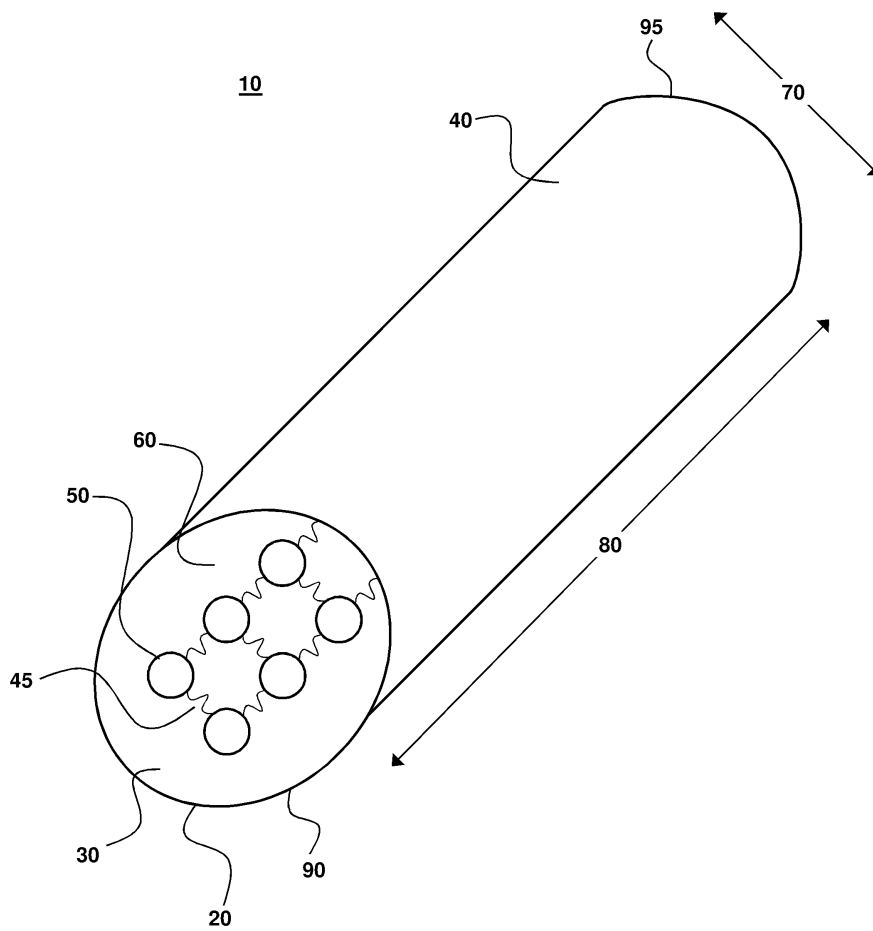




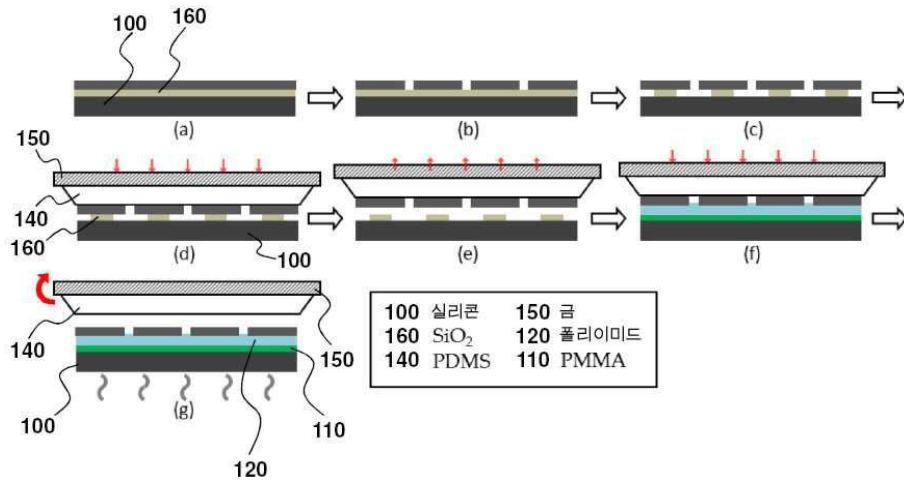
도면8



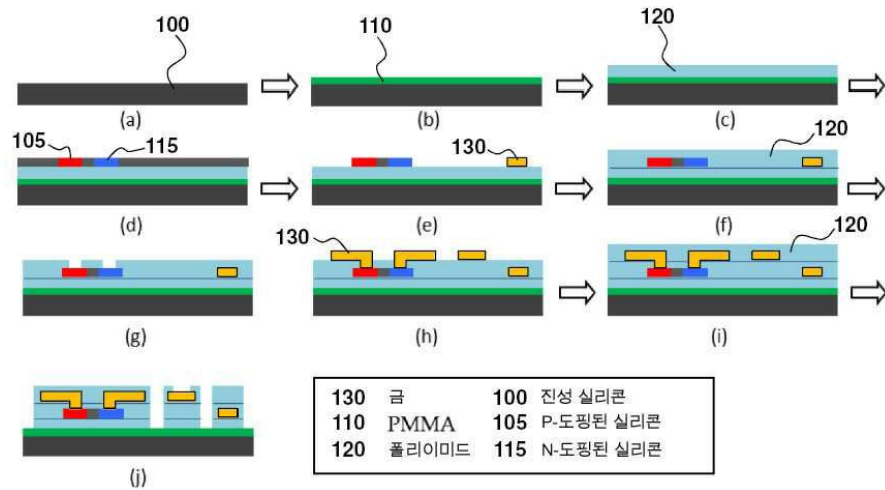
도면9



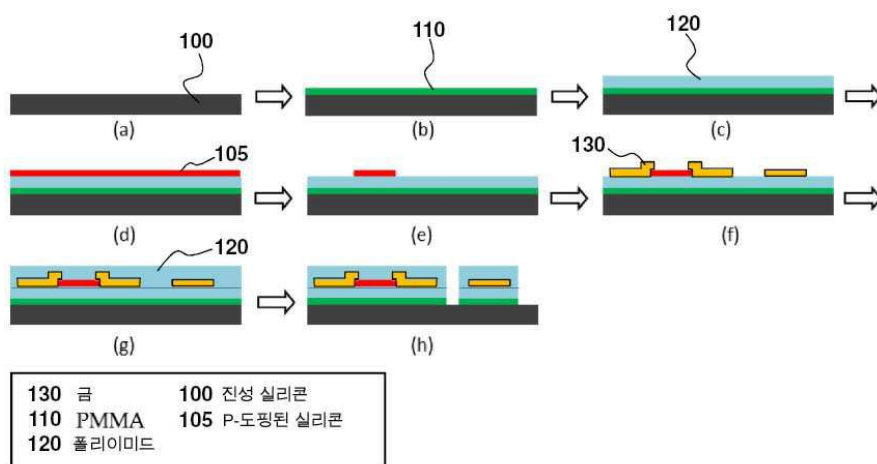
도면10



도면11

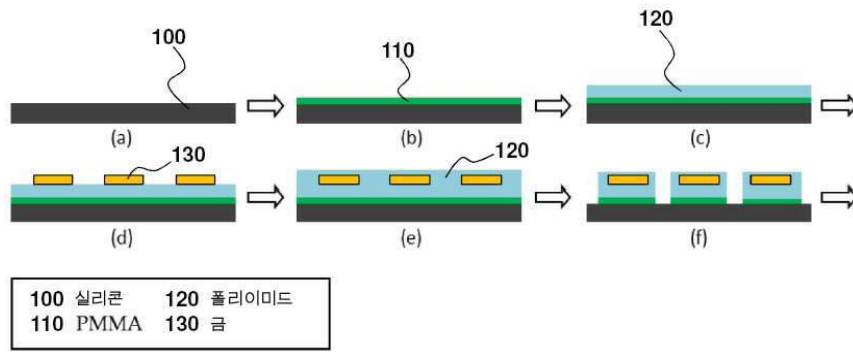


도면12

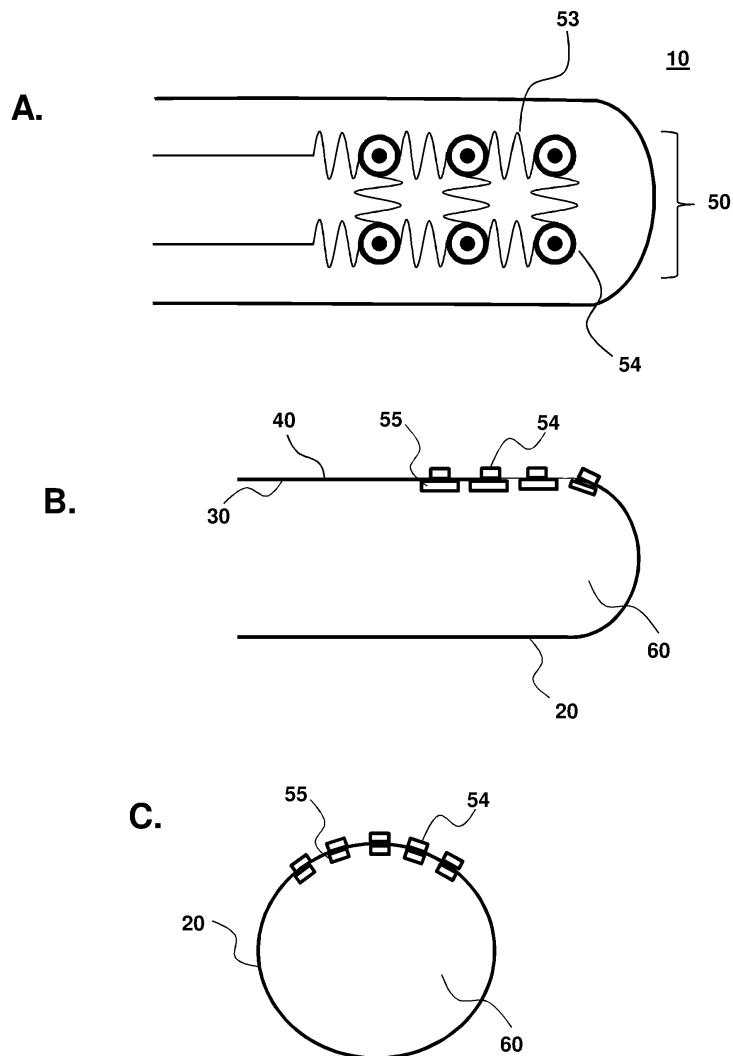




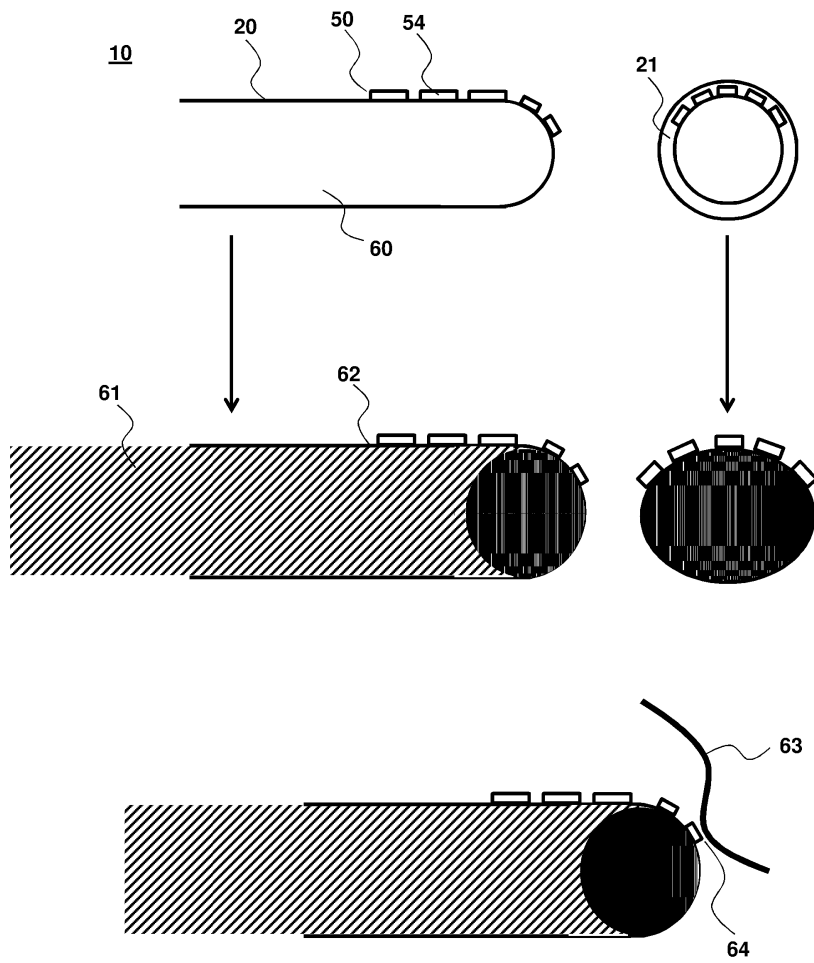
도면13



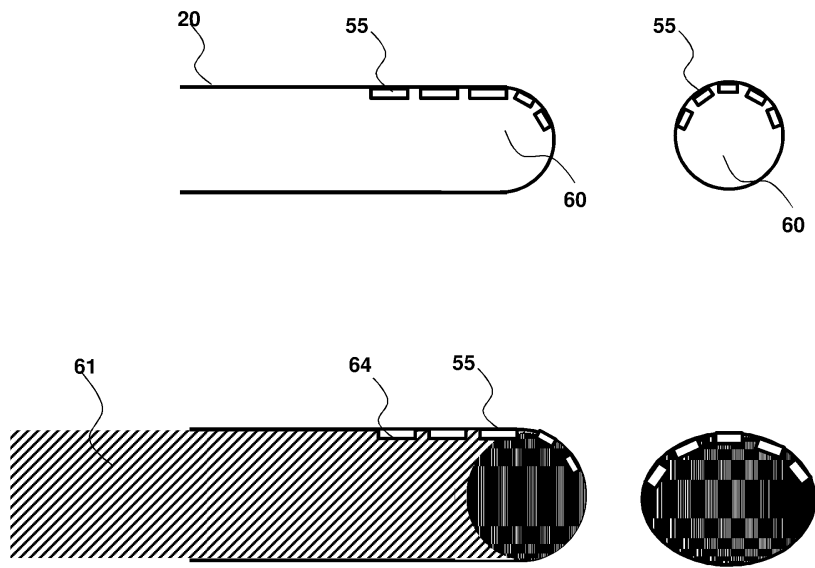
도면14



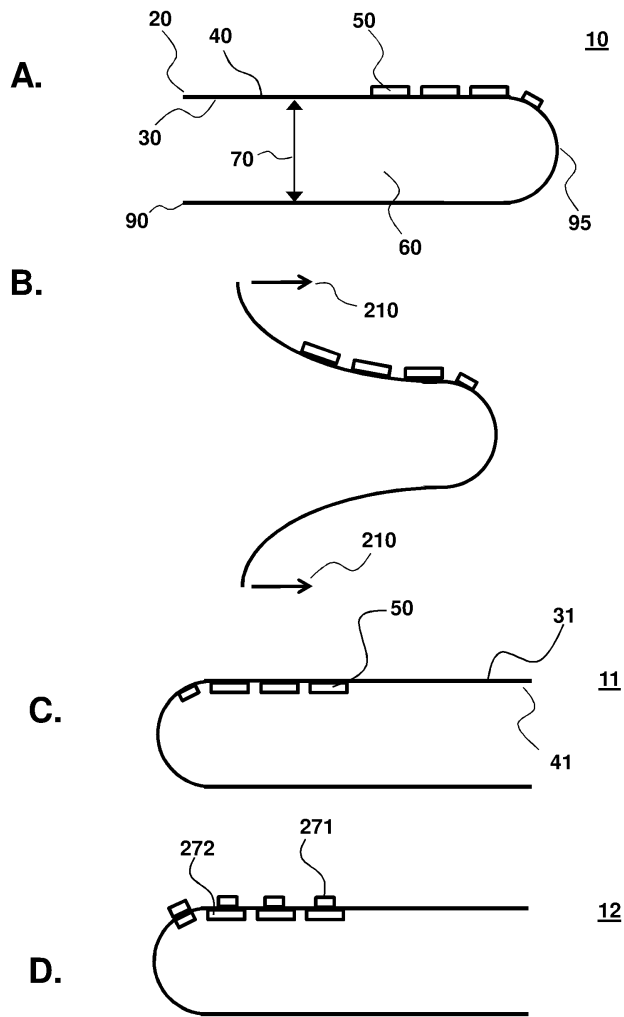
도면15



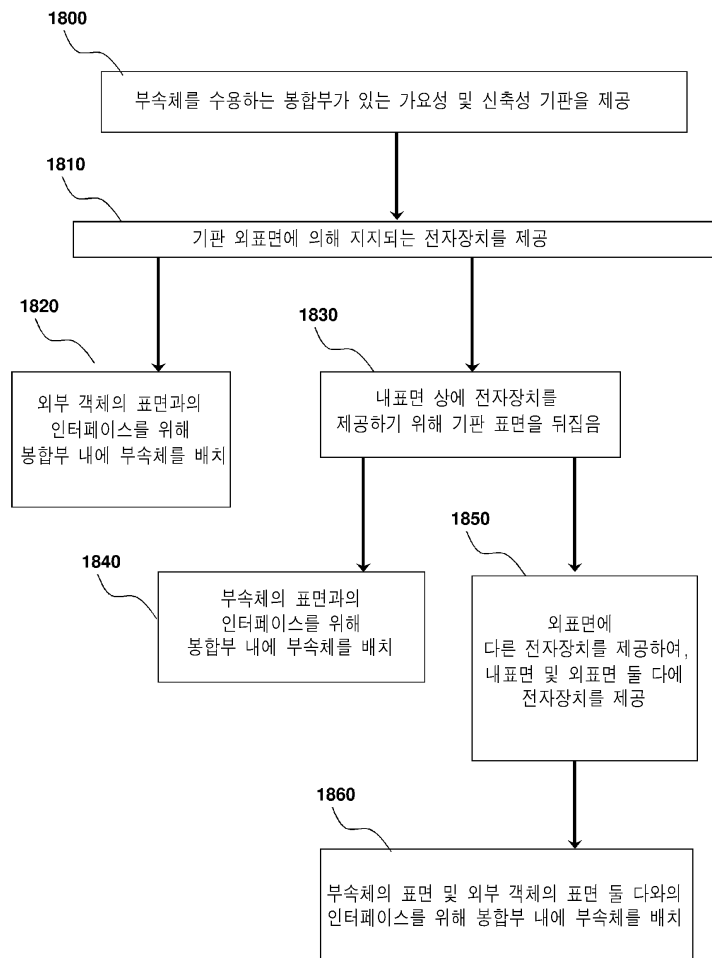
도면16



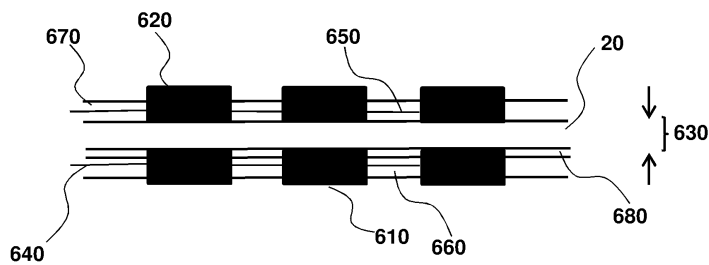
도면17



도면18



도면19



도면20

