



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년10월27일  
(11) 등록번호 10-1790558  
(24) 등록일자 2017년10월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
A61F 2/10 (2006.01) A61B 5/01 (2006.01)  
A61B 5/024 (2006.01) A61B 5/053 (2006.01)  
A61L 27/26 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
A61F 2/105 (2013.01)  
A61B 5/01 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2015-0126515  
(22) 출원일자 2015년09월07일  
심사청구일자 2015년09월07일  
(65) 공개번호 10-2017-0029323  
(43) 공개일자 2017년03월15일  
(56) 선행기술조사문헌  
PARK J. H. et al., Giant tunneling  
piezoresistance of composite elastomers with  
interlocked microdome arrays for electronic  
skins, ACS Nano, Vol. 8, No. 5, pp  
4689-4697(2014.3.4.)\*  
JP2013232293 A\*  
KR101486217 B1  
WO2010095581 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
울산과학기술원  
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50  
(72) 발명자  
고현협  
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50  
박종화  
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50  
이현상  
부산광역시 동래구 충렬대로107번길 54, 11동  
1302호 (온천동, 럭키아파트)  
(74) 대리인  
장한특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

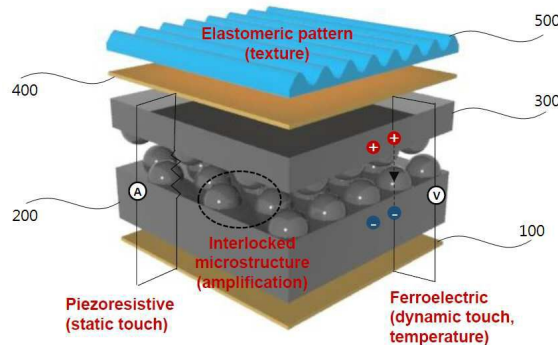
심사관 : 이훈재

(54) 발명의 명칭 강유전성 복합 소재 기반 인공 전자 피부

(57) 요약

본 발명에 따른 인공 전자 피부는 하부전극; 하부전극에 적층된 제1층;상기 제1층에서 상부로 기립되어 형성된 반구형상의 제1 마이크로 돔; 제1층 상에 적층된 제2층; 제1층에 대향하는 제2층의 하부로 제1 마이크로 돔과 맞물릴 수 있도록 형성된 반구형상의 제2 마이크로 돔 및 제2층의 상단면에 적층된 상부전극; 및 상부전극의 상단면에 적층되어 가해지는 외부의 압력이 수용하는 패턴층;을 포함하여, 하나의 소자에서 동적압력, 정적압력, 및 온도를 다른 신호를 이용하여 감지하고 구분할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**A61B 5/024** (2013.01)

**A61B 5/0531** (2013.01)

**A61L 27/26** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2.140468.01

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 울산과학기술대학교

연구사업명 글로벌프론티어사업

연구과제명 생체모사 마이크로/나노 구조 신축성 촉각감지 인공전자피부 개발

기 여 율 1/2

주관기관 울산과학기술대학교

연구기간 2014.09.01 ~ 2015.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2.140473.01

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 울산과학기술대학교

연구사업명 생체모사형메카트로닉스융합기술개발사업

연구과제명 적층구조 피부형 촉각/온도 감지 센서 개발

기 여 율 1/2

주관기관 울산과학기술대학교

연구기간 2014.09.15 ~ 2015.08.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

하부전극(100);

상기 하부전극(100)에 적층된 제1층(200);

상기 제1층(200)에서 상부로 기립되어 형성된 반구형상의 제1 마이크로 돔(210);

상기 제1층(200) 상에 적층된 제2층(300);

상기 제1층(200)에 대향하는 상기 제2층(300)의 하부로 상기 제1 마이크로 돔(210)과 맞물릴 수 있도록 형성된 반구형상의 제2 마이크로 돔(310) 및

상기 제2층(300)의 상단면에 적층된 상부전극(400); 및

상기 상부전극(400)의 상단면에 적층되고, 손가락 지문을 모사한 패턴으로 구성되며, 가해지는 외부의 압력을 수용하는 패턴층(500);을 포함하되,

상기 제1층(200)과 상기 제2층(300)은

PVDF(PolyVinylidene Chloride)와 GO(reduced graphene oxide)의 복합 소재로 이루어져 압저항 특성 및 압전 특성을 감지하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 패턴층(500)에 온도가 상이한 물방울이 떨어진 경우, 상기 하부전극(100)과 상기 상부전극(400)을 통해 측정한 저항값에 따라 상기 물방울의 온도를 감지하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

#### 청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 저항값과 물방울의 온도는 반비례하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 패턴층(500)에 온도가 상이한 물방울이 떨어진 경우, 상기 하부전극(100)과 상기 상부전극(400)을 통해 측정한 저항값에 따라 상기 물방울에 의해 가해지는 압력을 감지하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

## 청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 저항값과 상기 물방울에 의해 가해지는 압력은 반비례하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

## 청구항 8

제 1항에 있어서,

폴리이미드 필름에 의해 캡슐화되어 손목에 착용한 상태에서, 상기 하부전극(100)과 상기 상부전극(400)을 통해 상기 패턴층(500)으로 전달되는 맥박의 세기를 감지하고, 동시에 상기 맥박의 세기에 따라 측정되는 저항값을 측정하여 피부 온도를 측정하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

## 청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 피부 온도와 상기 저항값은 반비례하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

## 청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 패턴층(500)에 상이한 주파수의 소리가 전달되면, 상기 하부전극(100)과 상기 상부전극(400)을 통해 측정된 압전전류와 전압을 측정하여 음파를 검출하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

## 청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 패턴층(500)에 상이한 질감, 패턴을 지닌 표면을 스캔하면, 상기 하부전극(100)과 상기 상부전극(400)을 통해 측정된 압전전류와 전압을 측정하여 표면의 정보를 검출하는 것을 특징으로 하는 인공 전자 피부.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 강유전성 복합 소재 기반 인공 전자 피부에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 강유전성 특성을 가진 PVDF(PolyVinylidene Chloride:폴리염화비닐리덴)와 GO(Graphene Oxide)의 복합소재를 맞물려진 마이크로 돔 구조로 제어하되, 종래의 압전 특성 기반 동적 촉각감지와 더불어 물리적, 열적 자극에 따라 저항이 변화하는 특성을 이용하여 정적 촉각 및 온도를 감지할 수 있는 강유전성 복합 소재 기반 인공 전자 피부에 관한 것이다.

[0002] 또한, 정적/동적 촉각 및 온도를 구분 감지하는 특성과 지문 모사 패턴 도입을 통해 온도에 따른 맥박변화를 모니터링하고 음파, 표면의 질감을 구분감지할 수 있는 인공전자 피부의 응용기술에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 종래 인공 전자 피부는 단일 측정 모드를 통해 정적 또는 동적 촉각을 동시에 측정하는데 한계가 있고, 무엇보다도 물리적 촉각 및 온도를 구분 감지하기에 감지 신호의 분리하기가 어려운 문제점이 있다.

[0004] 또한, 종래 인공 전자 피부를 이용한 맥박 신호 감지는 온도에 대한 영향을 포함시키지 못하고, 정적/동적 촉각

을 동시에 측정하기 어려운 점이 있기 때문에 실제 피부와 같이 표면의 거칠기, 질감 등을 정확하게 감지하기 어려운 문제점이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1449410호(2014. 10. 02)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여, PVDF(PolyVinylidene Chloride:폴리염화비닐리덴)와 GO(Graphene Oxide)의 복합소재를 맞물려진 마이크로 돔 구조로 제어하되, 종래의 압전 소재의 동적 촉각감지 특성과 더불어 압력 및 온도에 따라 저항이 변화하는 특성을 이용하여 정적 촉각 및 온도를 구분 감지할 수 있는 인공 전자 피부의 제공을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 상술한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 인공 전자 피부는 하부전극; 상기 하부전극에 적층된 제1층; 상기 제1층에서 상부로 기립되어 형성된 반구형상의 제1 마이크로 돔; 상기 제1층 상에 적층된 제2층; 상기 제1층에 대향하는 상기 제2층의 하부로 상기 제1 마이크로 돔과 맞물릴 수 있도록 형성된 반구형상의 제2 마이크로 돔 및 상기 제2층의 상단면에 적층된 상부전극; 및 상기 상부전극의 상단면에 적층되어 가해지는 외부의 압력이 수용하는 패턴층;을 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

[0008] 본 발명에 따른 인공 전자 피부는 하나의 소자에서 동적 및 정적을 다른 신호를 이용하여 감지하고 구분할 수 있는 효과가 있다.

[0009] 또한 본 발명에 따른 인공 전자 피부는 PVDF(PolyVinylidene Chloride:폴리염화비닐리덴)와 GO(Graphene Oxide)소재의 온도변화 특성을 이용하여 온도를 감지할 수 있는 효과가 있고, 맞물려진 돔 구조를 통해 온도 민감성을 구현할 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 인간의 피부를 모사한 다기능 전자 피부 구성도,  
 도 2는 유연한 rGO/PVDF 나노복합 필름의 온도 센싱 특성을 설명하기 위해 도시한 도면,  
 도 3은 정적 압력과 온도의 자극 감지를 위한 맞물린 마이크로 돔 어레이를 가진 압저항 전자 피부의 특성을 설명하기 위해 도시한 도면,  
 도 4는 동맥 펄스 압력과 온도의 자극 모니터링을 위한 맞물린 마이크로 돔 어레이를 가진 압저항 전자 피부의 특성을 설명하기 위해 도시한 도면,  
 도 5는 동적 터치와 어쿠스틱 소리 감지를 위한 맞물린 마이크로 돔 어레이를 가진 압전 전자 피부의 특성을 설명하기 위해 도시한 도면, 및  
 도 6은 질감 감지를 위한 지문패턴을 가진 압전 전자 피부의 특성을 설명하기 위한 도면이다.

# 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정하여 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0012] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0013] 도 1은 본 발명에 따른 인공 전자 피부의 구성도이다.
- [0014] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 인공 전자 피부는 하부전극(100), 제1층(200), 제2층(300), 상부전극(400), 및 패턴층(500)을 포함한다.
- [0015] 상기 하부전극(100)은 구리(Cu)전극으로, 본 발명에 따른 인공 전자 피부의 최하부에 적층되어, 압전(Piezoelectric)특성과 더불어 압저항(piezoresistive) 특성을 측정하는 전극으로 이용된다.
- [0016] 상기 제1층(200)은 상기 하부전극(100)에 적층되어 형성되고, PVDF(PolyViny liDene Chloride:폴리염화비닐리덴)/GO(reduced graphene oxide) 복합 소재로 이루어져 정적/동적 촉각 및 온도를 감지한다.
- [0017] 이때, 상기 제1층(200) 상단에 반구 형상의 복수의 제1 마이크로 돔(210)이 형성되어 있는데, 상기 제1 마이크로 돔(210)은 표면적이 확장되어 수직 압력에 따른 민감도를 향상시킬 수 있다.
- [0018] 상기 제2층(300)은 상기 제1층(200)의 상부에 적층되어 형성되고, 상기 제1층(200)과 마찬가지로 PVDF(PolyViny liDene Chloride:폴리염화비닐리덴)/GO(reduced graphene oxide) 복합 소재로 이루어져 정적/동적 촉각 및 온도를 감지한다.
- [0019] 다만, 상기 제2층(300)은 상기 제1층(200)의 상단에 형성된 제1 마이크로 돔(210)과 맞물릴 수 있도록 하단에 복수의 제2 마이크로 돔(310)이 형성되는 것이 바람직하다.
- [0020] 상기 상부전극(400)은 상기 제2층(300)의 상단에 적층되어 상기 하부전극(100)과 마찬가지로, 압전(Piezoelectric)특성과 더불어 압저항(piezoresistive) 특성을 측정하는 전극으로 이용된다.
- [0021] 상기 패턴층(500)은 탄성중합체 패턴의 직물로 구성되고, 손가락 지문을 모사한 패턴으로 구성되어 신호를 증폭시켜 효과적인 힘의 전달을 구현할 수 있도록 하였다.
- [0022] 상기 하부전극(100)과 상기 상부전극(400)은 실버페이스트에 의해 각각 상기 제1층(200)과 상기 제2층(300)에 접촉되는데, 상기 실버페이스트는 접촉 저항을 최소화하기 위해 1시간 동안 90℃에서 어닐링된다.
- [0023] 상기 하부전극(100) 및 상기 상부전극(400)와 연결된 와이어를 통해 측정된 전류값 또는 전압값을 통해 온도를 감지할 수 있다.
- [0024] 도 2에 도시된 바와 같이, 온도가 0℃에서 100℃까지 증가함에 따라 전류가 증가함을 알 수 있다(도 2B).
- [0025] 반면, 도 2C에 도시된 바와 같이, 온도가 증가함에 따라 저항이 감소함을 알 수 있다.
- [0026] 한편, 도 2A에 도시된 바와 같이, 1wt.%(질량 퍼센트)의 rGO 농도로 rGO(reduced graphene oxide)/PVDF(PolyViny liDene Chloride:폴리염화비닐리덴) 복합 필름의 단면 SEM 이미지는 상기 rGO 시트가 PVDF 매트릭스 내에 균일하게 분산되고 적층되어 있음을 보여준다.
- [0027] 예를 들어, 도 2D에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 인공 전자 피부에 사람의 손이 위치하면, 온도센서에 의해 접촉된 부분 모두에 걸쳐 온도변화가 표시된다.
- [0028] 또한, 본 발명에 따른 인공 전자 피부에 상이한 온도의 물방울이 떨어졌을 때, 대표적인 광학 이미지와 적외선 카메라 이미지가 도 2E에 도시되어 있는데,
- [0029] 도 2F 및 도 2H에 도시된 바와 같이, 실선은 인공 전자 피부의 시간의존적 저항변화를 보이고, 반면 점선은 물방울 온도를 보이는데, 25℃ 공간에서 상기 인공 전자 피부에 물방울이 떨어지면, 상기 인공 전자 피부의 전기적 저항은 변하지 않는다.

- [0030] 반면, 38, 60 및 64℃의 따뜻한 물방울이 떨어지면, 상대적 저항이 0.74 에서 0.92까지 순간적으로 감소하고(도 2G), 반대로 차가운 물방울이 떨어지면 상대적 저항이 순간적으로 증가한다(도 2I).
- [0031] 한편, 압력-유도된 전기적 특성, 압전저항, 및 압전신호는 각각 상기 하부전극(100) 및 상기 상부전극(400)와 와이어로 연결된 반도체 파라미터 분석기, 및 소스 미터를 사용하여 측정된다.
- [0032] 평평한 복합필름은 인공 전자 피부에서 물방울에 의해 유도된 순간 압력변화에 민감하지 않다. 따라서, 본 발명에서 박판 복합필름에 마이크로 돔 어레이 구조의 맞물림 구조를 채용함으로써 민감도를 상당히 향상시킬 수 있다(도 3A).
- [0033] 맞물림 마이크로 돔 어레이의 압력 민감도는 이웃하는 마이크로 돔 어레이 사이에 접촉면의 큰 변화 및 응력 집중 효과 때문에 평평한 필름보다 상당히 높다(도 3B).
- [0034] 또한, 맞물림 마이크로 돔 어레이의 구조는 평평한 필름의 TCR 값(1.58%/℃)과 비교하여 높은 TCR 값(2.93%/℃)을 가진다(도 3C).
- [0035] 한편, 동시에 지속적인 온도와 압력 변화에 따라 맞물림 구조를 가진 인공 전자 피부의 시간적 반응을 평가하기 위해, 다양한 온도에서 물방울을 떨어트린 후, 즉시 전자 피부 저항과 물 온도의 시간 의존적 변화를 분석하였다.
- [0036] 실온에서의 전자 피부에 물방울 낙하는 물방울에 의해 가해지는 압력 때문에 상대적 저항이 0.92 감소하는 결과를 가져왔다(도 3E).
- [0037] 40℃ 및 60℃에 따뜻한 물방울이 전자 피부에 떨어지면, 저항이 순간 0.38 및 0.25로 각각 감소하는데, 초전효과와 압저항 효과 때문이다.
- [0038] 이때, 시간이 지남에 따라 따뜻한 물방울의 냉각으로 인해 저항이 점점 증가하고, 마침내 물방울에 의해 가해지는 정적압력과 대응되는 열평형 상태인 0.92의 저항값에 도달한다.
- [0039] 물방울 압력이 변화되면, 상대적인 저항의 평형 값은 상이한 압력 값에 따라 달라진다(도 3F).
- [0040] 한편, 도 4A에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 인공 전자 피부는 착용가능하게 양면이 폴리이미드 필름에 의해 1~2cm 사이로 캡슐화되어, 동맥 압력 펄스를 모니터링하기 위하여 손목에 감싸지게 된다.
- [0041] 운동과 함께 상기 동맥 압력 펄스의 변화와 체온은 5분 동안 달리고, 손목을 따뜻하고 차가운 물에 2분 동안 담근 후 관찰된다.
- [0042] 피부 온도에 따라 혈관은 맥압이 감소 또는 증가로 확장 또는 수축된다.
- [0043] 도 4B는 손목 맥압의 전형적인 압전저항의 판독을 나타내고, 세 가지 구별가능한 피크( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ )가 도시되어 있는데, 상기 맥압( $P_1$ )은 심장 수축에 의해 도출된 혈류로 인한 수축기(PSys) 및 확장기(PDia) 사이의 압력차이다.
- [0044] 한편, 반사파 압력( $P_2$ , 및  $P_3$ )은 말초부위( $P_2$ 는 손 그리고  $P_3$ 는 하체)로부터 반사된 파에 의해 발생된다.
- [0045] 도 4C에서 운동 전에 일반적인 상태하에서 요골 동맥의 증가지표(AIr:artery augmentation index= $P_2/P_1$ )와 반경 이완기 확대 지표(DAI:radial diastolic augmentation index= $P_3/P_1$ )가 각각 0.45와 0.31로 관찰되었다.
- [0046] 또한, 도 4D에서 피부 온도가 20℃에서 42℃로 증가함에 따라 확장기 혈압(PDia)의 상대적 저항이 1.40에서 0.64로 감소하였고, 도 4E에서 동맥 펄스 압력이 온도에 따라 상이한 파형을 명확하게 보였다.
- [0047] 여기서, 모든 펄스와 반사파 압력( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ )은 온도의 증가로 감소한다.
- [0048] 맥박 파형에 이어 변수의 자세한 분석은 도 4F에 도시된 바와 같다.
- [0049] 상기 도 3C에서 피부 온도의 증가로 상대적 저항이 선형적으로 감소하는데, 저항과 온도 사이의 이런 선형적인 관계는 동맥 펄스 압력을 측정하는 동안 피부온도를 직접 모니터링하는데 사용될 수 있다.
- [0050] 맞물림 구조를 갖는 본 발명에 따른 강유전체의 인공 전자 피부는 동적 촉각 자극의 압전인식이 가능하다.
- [0051] 도 5A에서 평평한 압전필름과 비교하여 맞물림 전자 피부는 넓은 접촉면적을 갖고, 마이크로 돔 사이의 좁은 접



측면적에서 압력 집중효과가 있어 압전 성능을 향상시킬 수 있다.

- [0052] 도 5B에 보는 바와 같이, 맞물린 마이크로 돔 필름의 압전 전류는 2.45kPa 이하에서 35uA/Pa, 및 2.45 내지 17.15kPa 범위에서 5uA/Pa의 민감도로 가해지는 일반적인 힘에 따라 달라진다.
- [0053] 도 5C에 보는 바와 같이, 압전 전류와 전압은 가해진 충격 주파수(0.1Hz~1.5Hz)의 증가에 따라 점차적으로 증가한다.
- [0054] 순간적인 변형과 맞물린 마이크로 돔 어레이 및 압전 전류의 변화 후의 이완은 고주파 진동으로 이루어진 음파의 검출을 가능하게 한다.
- [0055] 도 5D에 도시된 바와 같이, 스피커로부터 발생된 소리 파형이 본 발명에 따른 맞물린 전자 피부에 의해 모니터링되는 것을 통해 소리 감지 능력을 설명할 수 있다.
- [0056] 도 5E에 도시된 바와 같이, 맞물린 전자 피부의 압전 전압은 주파수가 최대값 2000Hz에 도달하는 동안 주파수와 비례하여 증가로 증가하고 2000Hz 이후 점점 감소한다.
- [0057] 반면, 평평한 전자 피부는 주파수 변화에 따라 압전 전압이 현저하게 변화하지 않는다.
- [0058] 도 5F에 도시된 바와 같이, 압전 전압 파형이 스피커로부터 S, K, I, 및 N과 같은 상이한 알파벳의 소리로 응답하는 것을 관찰할 수 있다.
- [0059] 음향 파형의 전체문장의 모니터링을 설명하기 위해, 잘 알려진 리처드 파인만의 연설 타이틀 "바닥에 충분한 공간이 있다"를 상용 마이크를 통해 맞물린 전자 피부에 출력해 보았다.
- [0060] 도 5G에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 맞물린 전자 피부에서, 시간에 따른 위치 및 압전 전압 파형의 강도와 대응하는 스펙트로그램은 문장의 어쿠스틱 사운드의 음향파형 및 스펙트로그램과 잘 일치함을 알 수 있다.
- [0061] 반면, 상용 마이크는 시간에 따른 음향파형 변화와 문장의 스펙트로그램을 정확히 관찰할 수 없음을 알 수 있다.
- [0062] 빠르게 적응하는 압전 전자 피부는 표면 텍스처의 인식이 용이한 촉각 신호들의 공간 및 시간 인코딩을 가능하게 할 수 있다.
- [0063] 이를 위해, 상기 전자 피부는 도 6A 중간에 도시된 바와 같이 마이크로스테이지에 부착되고, 상이한 스캐닝 속도로, 도 6A 하부에 도시된 바와 같이 표면 질감을 통해 스캔한다.
- [0064] 특히, 사람 손의 지문 패턴을 모사하도록, 질감-유도 진동의 증폭을 위해 도 6A의 상부에 도시된 바와 같이 전자 피부의 표면에 평행한 릿지(ridge)(피치:470 $\mu$ m, 폭:163 $\mu$ m)를 채택했다.
- [0065] 도 6B는 맞물린 전자 피부가 상이한 스캐닝 속도(0.25~2.5mm/s)로 평행선 패턴을 가진 표면 질감을 통해 스캔할 때, 시간에 따른 압전 전류의 변화를 표시한다.
- [0066] 도 6C에서, 상기 압전 전류 신호에 대한 고속 푸리에 변환 스펙트럼은 각 스캐닝 속도 및 감소하는 진폭을 가진 고주파와 관련된 기본적인 주파수(화살표)가 있음을 나타낸다.
- [0067] 도 6D에 도시된 바와 같이, 전류 신호의 단시간 푸리에 변환은 압전 전류의 시간에 따른 변화를 더욱 잘 설명한다.
- [0068] 규칙적인 표면 패턴에 대한 스캐닝은 동일한 시간 영역의 스캐닝 속도의 증가와 함께 증가하는 30Hz이하 주파수 범위에서 시간에 대한 주기적인 라인 패턴 유도한다.
- [0069] 지문 패턴을 가진 본 발명에 따른 맞물린 인공 전자 피부는 도 6E에 도시된 바와 같이 사포, 유리, 및 종이 등 상이한 거칠기를 가진 다양한 표면을 감지할 수 있다.
- [0070] 미세한 질감의 감지를 알아보기 위해, 도 6F에 도시된 바와 같이, 전자 피부는 상이한 표면 패턴과 사이즈(선: 피치 크기<P>=80 $\mu$ m, 폭<W>=10 $\mu$ m/ 사각형: P=80 $\mu$ m, W=20 $\mu$ m/ 오각형: P=90 $\mu$ m, W=20 $\mu$ m)를 가진 실리콘 기판 위를 2.5mm/s로 스캐닝하였다.
- [0071] 수직방향으로 실리콘 라인 패턴을 가로지른 스캐닝은 도 6F 중간에 도시된 바와 같이, 주기적인 출력 전류파동을 유도하고, 도 6F 하부에 도시된 바와 같이 부드러운 실리콘 표면(도 6F i)과 비교했을 때 분명히 인지할 수 있는 STFT 스펙트로그램에서 30Hz 근처의 독점 주파수 대역을 유도한다.



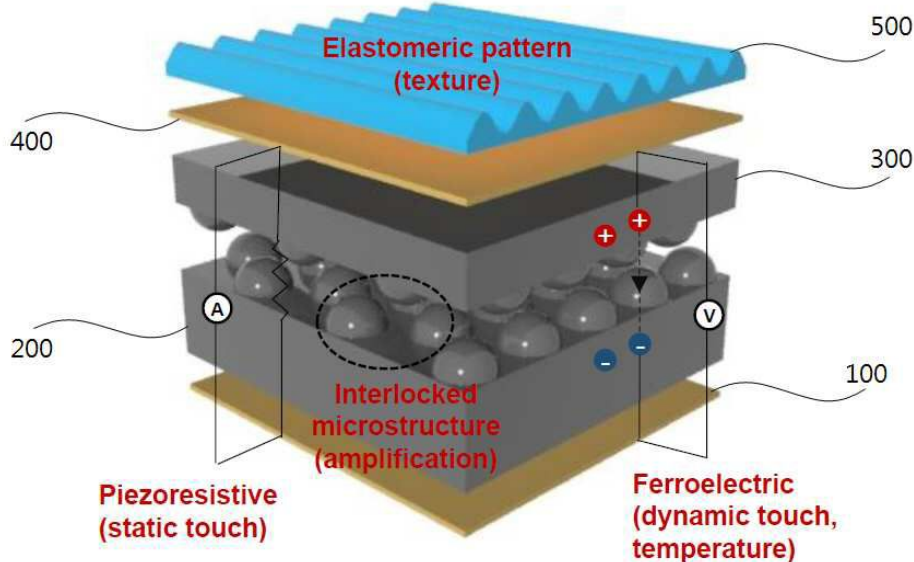
- [0072] 2.5mm/s의 스캐닝 속도에서 관찰된, 상기 30Hz 주파수 대역은 80um 내부 릿지 거리에 가까운 83um의 피치와 대응된다.
- [0073] 반면, 평행한 방향(도 6Fiii)으로 실리콘 라인 패턴을 통한 스캐닝은 30Hz에 가까운 중요한 주파수 대역을 나타내지 못한다.
- [0074] 사각 패턴(도 6Fiv)은 라인 패턴에 수직인 스캐닝을 통해 관찰되는 대역과 유사한 30Hz에 가까운 주파수 대역을 발생시킨다.
- [0075] 반면, 어떤 연속적인 내부 패턴 이격이 없는 오각형 패턴(도 6Fv)에 대한 스캐닝은 30Hz에 가까운 주목할만한 어떤 주파수 밴드를 나타내지 못한다.
- [0076] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 하기에 기재될 청구 범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

### 부호의 설명

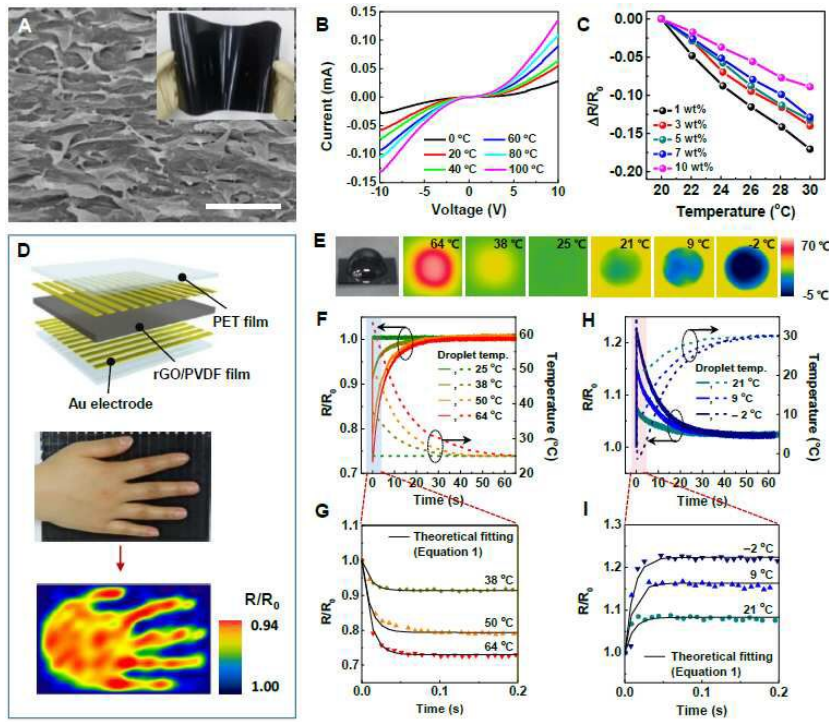
- [0077] 100 : 하부전극  
200 : 제1층  
300 : 제2층  
400 : 상부전극  
500 : 패턴층

### 도면

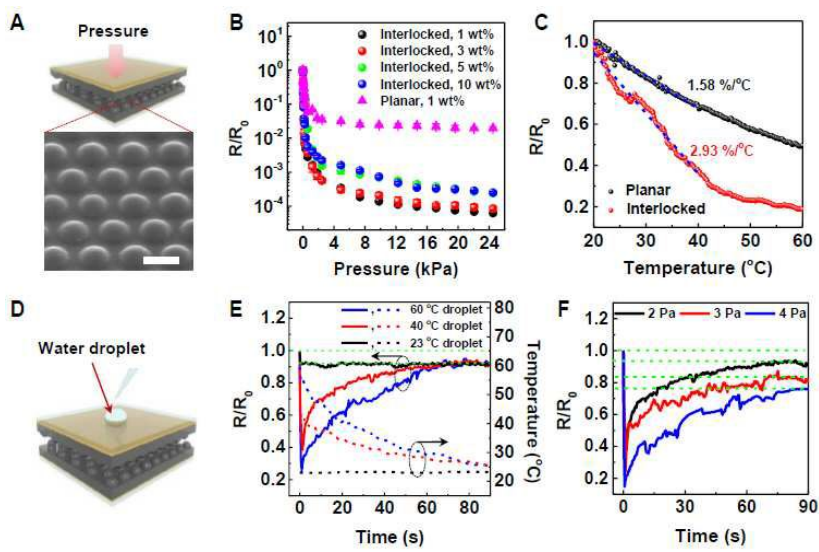
#### 도면1



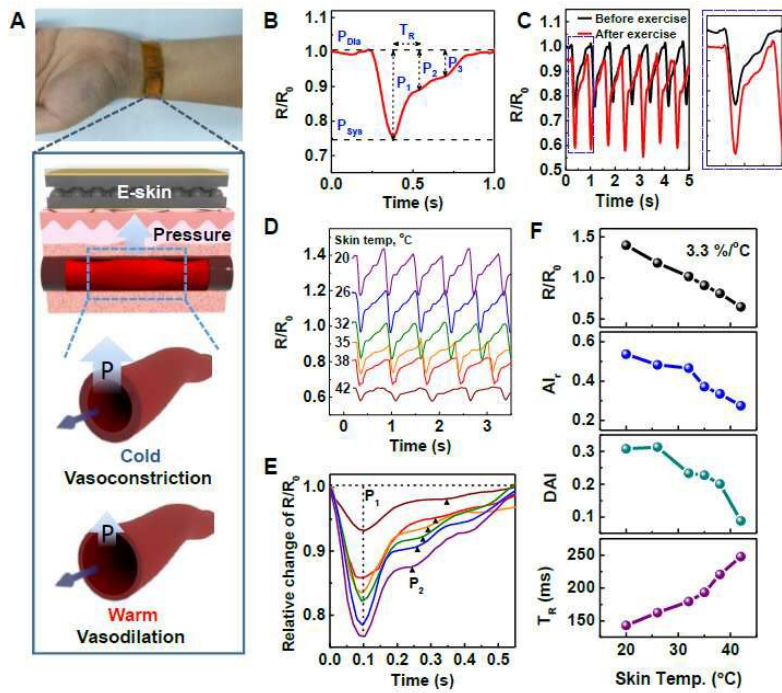
도면2



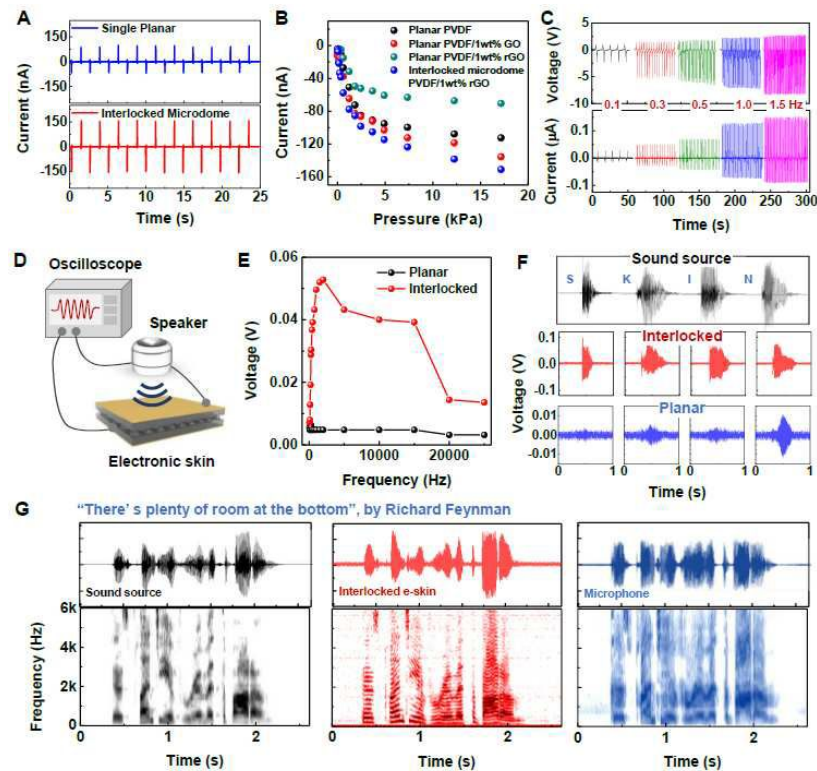
도면3



도면4



도면5



도면6

