

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0138936
(43) 공개일자 2024년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 5/293 (2021.01) A61B 5/263 (2021.01)

A61B 5/37 (2021.01)

(52) CPC특허분류

A61B 5/293 (2022.01)

A61B 5/263 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2023-0032872

(22) 출원일자 2023년03월13일

심사청구일자 2023년03월13일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

김종백

경기도 고양시 일산동구 강석로 152, 강촌마을 7단지 아파트 708동 2001호

조일주

서울특별시 성북구 정릉로 305, 경남아파트 102동 903호(정릉1동 1015)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인다나

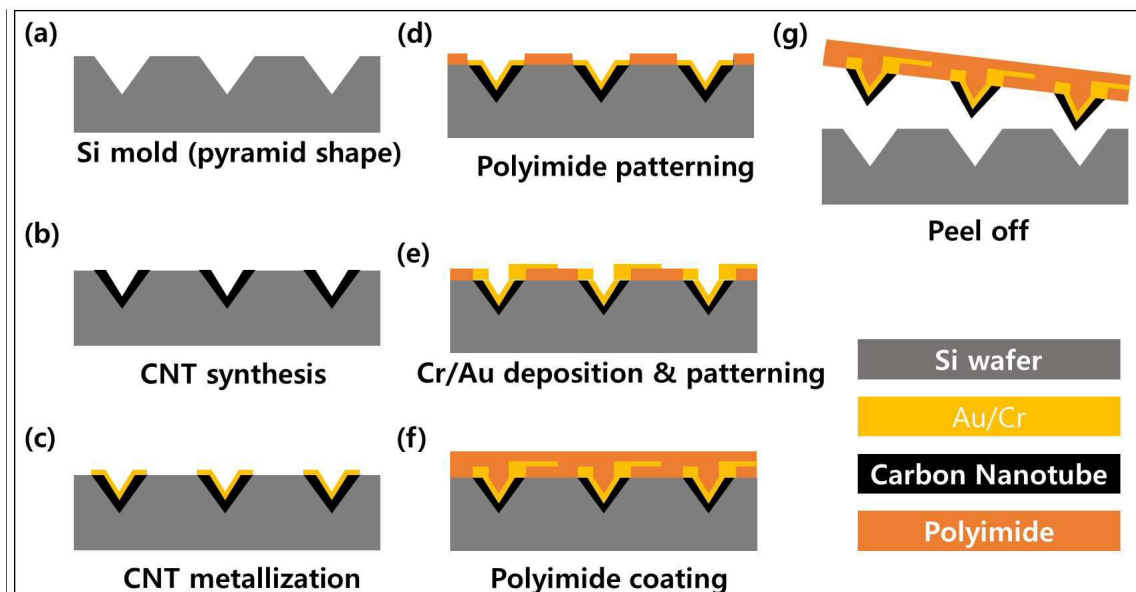
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 수직 정렬된 탄소 나노튜브의 마이크로 구조화를 통한 대뇌피질검사용 유연 미세전극 어레이

(57) 요약

본 발명은 수직 정렬된 탄소 나노튜브(Vertically aligned carbon nanotubes, VACNT)의 구조화를 통해 대뇌피질 검사에 활용되는 유연 미세전극 어레이의 제작 방법 및 구조에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 5/37 (2021.01)

A61B 2562/125 (2013.01)

(72) 발명자

한현준

서울특별시 종로구 송월길 99, 207동 606호

심상준

서울특별시 서대문구 연희로10가길 51-27, 204호(연희동 340-40)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711155873
과제번호	2019M3E5D2A01063814
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래뇌융합기술개발
연구과제명	3차원 뇌조직에서의 신경활성도 정밀 측정을 위한 스마트 플레이트 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711164177
과제번호	2021R1A2B5B03002850
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	접촉과 마찰 기반 MEMS의 가혹환경 구동 및 장수명 고신뢰성 확보를 위한 나노소재
응용 연구	
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

열산화막을 성장시킨 웨이퍼를 습식식각하여 몰드를 제작하는 단계;

상기 몰드에 철 촉매를 증착하는 단계;

상기 철 촉매가 증착된 몰드 내부에 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 패터닝하는 단계;

상기 수직 정렬된 탄소 나노튜브 상부에 금속을 1차 증착하는 단계;

상기 웨이퍼에 폴리머를 패터닝하는 단계;

상기 1차 증착된 금속층 및 상기 패터닝된 폴리머 상부에 금속을 2차 증착하고 패터닝하는 단계;

3차원 구조의 수직 정렬된 탄소 나노튜브 가닥을 전사하기 위해 상기 패터닝이 완료된 상부에 폴리머를 사용하여 수직 정렬된 탄소 나노튜브와 금속의 상부를 코팅하는 단계; 및

폴리머가 코팅된 전극을 몰드에서 분리하는 단계를 포함하는 유연 미세전극 어레이 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 몰드를 제작하는 단계는, 수산화칼륨, 수산화나트륨, 테트라 메틸 암모늄 하이드록사이드, 에틸렌디아민피로카데콜로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 식각액을 사용하는 습식식각하는 단계를 포함하는 유연 미세전극 어레이 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 패터닝하는 단계는 화학 기상 증착법을 사용하는 유연 미세전극 어레이 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 폴리머를 패터닝하는 단계에서 폴리머는 폴리이미드, 감광성 폴리이미드(Photosensitive Polyimide, PSPI), 및 패틸린(Parylene)으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 1종 이상을 사용하는 유연 미세전극 어레이 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 금속을 1차 및 2차 증착하는 단계는 접촉력 증가를 위한 제1금속층을 증착하는 단계; 및 부식방지를 위한 제2금속층을 증착하는 단계를 포함하는 유연 미세전극 어레이 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1금속층은 Au, Pt, 및 Ir으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 1종 이상을 포함하는 유연 미세전극 어레이

이 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 제2금속층은 Cr 및/또는 Ti을 포함하는 유연 미세전극 어레이 제조방법.

청구항 8

3차원 피라미드 구조의 표면에 노출되는 수직 정렬된 탄소 나노튜브(VACNT)를 포함하는 유연 미세전극 어레이.

청구항 9

제8항에 있어서, 전극의 크기가 10 내지 30 μm 인 유연 미세전극 어레이.

청구항 10

제8항에 있어서, 수직 정렬된 탄소 나노튜브(VACNT) 하부에 금속층을 포함하는 유연 미세전극 어레이.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 금속층은, Au, Pt, 및 Ir으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 1종 이상을 포함하는 제1금속층, 및 상기 제1금속층 하부에 증착되며 Cr 및/또는 Ti을 포함하는 제2금속층을 포함하는 유연 미세전극 어레이.

청구항 12

제8항에 있어서, 상기 금속층 하부에 폴리머층을 포함하는 유연 미세전극 어레이.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 폴리머층은 폴리이미드, 감광성 폴리이미드(Photosensitive Polyimide, PSPI), 및 패틸린(Parylene)으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 1종 이상인 유연 미세전극 어레이.

청구항 14

제8항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 전극의 임피던스 값이 4 내지 12인 유연 미세전극 어레이.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 수직 정렬된 탄소 나노튜브(Vertically aligned carbon nanotubes, VACNT)의 구조화를 통해 대면적 질검사에 활용되는 유연 미세전극 어레이의 제작 방법 및 구조에 관한 것으로, 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 전사 과정을 활용하여 유연 디바이스에 활용할 수 있으며, 외부 기관(몰드)에서 카본나노튜브를 합성하고, 이후 유연전극에 전사하는 방식을 통해 디바이스를 제작하여, 이를 통해 제작된 유연 미세전극 어레이는 높은 표면적

을 갖으며 높은 공간해상도 및 신호대잡음비를 갖을 수 있다.

배경 기술

- [0002] 대뇌피질검사(Electrocorticography, ECoG) 시 활용되는 신호 측정용 전극은 인간의 대뇌 표면에 직접 부착되어 뇌 표면에서 발생하는 전기신호를 받아들이는 역할을 한다. 신호 측정용 전극은 대뇌의 신경 세포에서 발생하여 전달되는 전기신호 측정의 정확도를 높이기 위한 방향으로 많은 연구가 진행되었다. 마이크로 공정을 활용한 micro-ECoG(μ ECoG) 전극 어레이는 기존의 ECoG 전극에 비해 같은 면적에서 더 많은 개수의 전극을 배열하여 전극의 공간 분해능을 높였다(비특허문헌 1). 또한 나노 물질을 활용하여 전극의 신호 측정부의 표면적, 전기전도성을 높여 높은 신호대잡음비(Signal-to-noise ratio, SNR)를 갖는 전극들도 개발되었다(비특허문헌 2).
- [0003] 기계적 강도와 전기전도성이 우수하면서 매우 넓은 표면적을 갖는 CNT는 신호 측정용 전극에 활용될 수 있는 물질로 연구되어 왔고, CNT를 활용한 신호 측정용 전극이 보고되었다. Mohaddeseh et al. (비특허문헌 3)은 CNT가 분산된 용액을 전극의 신호측정부에 방울 형태로 떨어뜨린 후 증발시켜 CNT 가닥이 코팅된 전극을 제작했으며, Jeong et al. (비특허문헌 4)는 전극의 신호측정부에 VACNT를 직접 합성하여 활용하였다. 앞선 연구들은 단순히 CNT가 분산된 용액을 사용하여 신호측정부를 decoration 하여 전극의 표면적 증가 효과가 적거나, 700 도 이상의 온도에서 합성되는 VACNT를 활용하기 위해서 단단한 기판에서 VACNT를 합성하여 단단한 기판 기반의 in-vitro용 전극만 제작하였다. Moshe et al. (비특허문헌 5)은 유연전극에 VACNT를 활용하기 위해서 외부 기판에서 합성한 VACNT를 폴리머 기판에 전사하여 전극을 제작하였다. 하지만 전극의 절연층을 덮는 과정에서 manual work이 필요한 한계점으로 인해 전극의 신호측정부 크기를 100 μ m 이하로 줄일 수 없어 고해상도 전극의 제작이 불가능하며, 일괄 공정으로 진행할 수 없다는 단점을 갖고 있다.
- [0004] 따라서, 본 발명에 따른 VACNT 기반 유연전극 어레이는 마이크로 공정을 활용하여 고해상도의 신호 측정용 전극을 제작하였으며, VACNT를 신호측정부의 활물질로 활용하여 기존의 신호 측정용 전극에 비해 매우 낮은 임피던스를 보여 생체 신호 측정 시 높은 신호대잡음비를 보일 수 있는 장점을 확인함으로써 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0005] (비특허문헌 0001) Park, Dong-Wook, et al. "Graphene-based carbon-layered electrode array technology for neural imaging and optogenetic applications." Nature communications 5.1 (2014): 1-11.
- (비특허문헌 0002) Khodagholy, Dion, et al. "NeuroGrid: recording action potentials from the surface of the brain." Nature neuroscience 18.2 (2015): 310-315.
- (비특허문헌 0003) Vafaiee, Mohaddeseh, et al. "Carbon nanotube modified microelectrode array for neural interface." Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8 (2021): 582713.
- (비특허문헌 0004) Kim, Gook Hwa, et al. "A high-performance transparent graphene/vertically aligned carbon nanotube (VACNT) hybrid electrode for neural interfacing." RSC advances 7.6 (2017): 3273-3281.
- (비특허문헌 0005) David-Pur, Moshe, et al. "All-carbon-nanotube flexible multi-electrode array for neuronal recording and stimulation." Biomedical microdevices 16.1 (2014): 43-53.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 목적은 수직 정렬된 탄소 나노튜브(Vertically aligned carbon nanotubes, VACNT)의 구조화를 통해 대뇌피질검사에 활용되는 유연 미세전극 어레이 및 이의 제작 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명은 수직 정렬된 탄소 나노튜브(Vertically aligned carbon nanotubes, VACNT)의 구조화를 통해 대뇌피

질검사에 활용되는 유연 미세전극 어레이 및 이의 제조방법을 제공한다.

- [0008] 본 발명의 유연 미세전극 어레이 제조방법은, 열산화막을 성장시킨 웨이퍼를 습식식각하여 몰드를 제작하는 단계; 상기 몰드에 철 촉매를 증착하는 단계; 상기 철 촉매가 증착된 몰드 내부에 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 패터닝하는 단계; 상기 수직 정렬된 탄소 나노튜브 상부에 금속을 1차 증착하는 단계; 상기 웨이퍼에 폴리머를 패터닝하는 단계; 상기 1차 증착된 금속층 및 상기 패터닝된 폴리머 상부에 금속을 2차 증착하고 패터닝하는 단계; 3차원 구조의 수직 정렬된 탄소 나노튜브 가닥을 노출시키기 위해 상기 패터닝이 완료된 상부에 폴리머를 사용하여 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 전사하는 단계; 및 폴리머가 전사된 전극을 몰드에서 분리하는 단계를 포함한다.
- [0009] 상기 몰드를 제작하는 단계는, 수산화칼륨, 수산화나트륨, 테트라 메틸 암모늄 하이드록사이드, 에틸렌디아민 피리코카데콜로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 식각액을 사용하는 습식식각하는 단계를 포함한다.
- [0010] 상기 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 패터닝하는 단계는 화학 기상 증착법을 사용한다.
- [0011] 상기 폴리머를 패터닝하는 단계는 유연전극의 상부 절연층을 형성하기 위해 폴리머로서, 폴리이미드, 감광성 폴리이미드(Photosensitive Polyimide, PSPI), 및 패릴린(Parylene)으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 1종 이상을 사용한다.
- [0012] 상기 폴리머를 패터닝하는 단계는 포토리소그래피 공정을 통해 폴리이미드를 패터닝하는 단계 및 경화하는 단계를 포함한다.
- [0013] 상기 금속을 1차 및 2차 증착하는 단계는 접촉력 증가를 위한 제1금속층을 증착하는 단계; 및 부식방지를 위한 제2금속층을 증착하는 단계를 포함한다.
- [0014] 상기 제1금속층은 Au, Pt, 및 Ir으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 1종 이상을 포함하여 부식을 방지할 수 있다.
- [0015] 상기 제2금속층은 Cr 및/또는 Ti을 포함하여 접촉력을 강화할 수 있다.
- [0016] 상기 금속을 2차 증착하고 패터닝하는 단계는 포토리소그래피 공정을 통해 전극 배선 패턴대로 포토레지스트 마스크 층을 형성하는 단계 및 부식액(etchant)을 이용하여 습식 식각하여 패터닝하는 단계를 포함한다.
- [0017] 상기 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 전사하는 단계를 통해 고온가열 공정 없이 전사 과정을 활용하여 유연 디바이스에 활용할 수 있다.
- [0018] 상기 전극을 몰드에서 분리하는 단계는 부식액을 사용하여 웨이퍼의 SiO₂ 희생층을 식각하여 유연 미세전극 어레이를 분리한다. 이때 부식액은 버퍼 산화 부식액(Buffered Oxide Etchant, BOE)을 사용한다.
- [0019] 상기 제조방법을 통해 VACNT 가닥이 노출되어 형성됨으로써 높은 표면적을 가지는 유연 미세전극 어레이를 제작할 수 있다.
- [0021] 본 발명에 따른 유연 미세전극 어레이는 피라미드 형상의 3차원 구조를 갖는 수직 정렬된 탄소 나노튜브(VACNT)를 포함한다. 이는 전극의 유효 표면적을 증가시켜 저임피던스 신호 측정용 전극으로 사용할 수 있다.
- [0022] 상기 유연 미세전극 어레이는 전극의 크기가 10 내지 30 μm 이다. 예를 들어, 전극의 크기는 10 내지 12.5 μm , 12.5 내지 15 μm , 15 내지 17.5 μm , 또는 17.5 내지 20 μm , 20 내지 22.5 μm , 22.5 내지 25 μm , 25 내지 27.5 μm , 27.5 내지 30 μm 일 수 있다. 이로 인해 고성능 신호 측정이 가능하여 대뇌 표면에서 생체 신호 측정 시 단일 신경 뉴런의 스파이크 신호를 측정하는데 활용할 수 있다.
- [0023] 상기 유연 미세전극 어레이는 수직 정렬된 탄소 나노튜브(VACNT) 하부에 Au 및/또는 Cr을 포함하는 금속층을 포함한다. 이는 접촉 저항을 낮춰 전체 전극의 임피던스를 감소시킴으로써 신호 측정 시 기존 금속 기반 전극 대비 높은 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)를 나타낼 수 있다.
- [0024] 상기 금속층 하부에 폴리머층을 포함하며, 폴리머는 폴리이미드, 감광성 폴리이미드(Photosensitive Polyimide, PSPI), 및 패릴린(Parylene)으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 1종 이상을 사용하고, 바람직하게는, 폴리이미드를 사용하면 전극의 유연성 및 높은 기계적 강도를 동시에 구현할 수 있다.

[0025] 상기 유연 미세전극 어레이는 VACNT 가닥이 노출되어 형성됨으로써 높은 표면적을 가질 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따른 유연 미세전극 어레이 제조방법은 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 전사 과정을 활용하여 유연 디바이스에 활용할 수 있으며, 이를 통해 제작된 유연 미세전극 어레이는 높은 표면적을 갖으며 높은 공간해상도 및 신호대잡음비를 갖을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 수직 정렬된 탄소 나노튜브의 마이크로 구조화를 통한 대뇌피질검사용 유연 미세전극 어레이의 제조방법의 일 실시예를 나타낸 예시도이다.

도 2는 제작한 미세전극의 (a) 전체 소자 사진, (b) 신호측정부와 전극 라인의 광학 현미경 이미지, (c) 신호측정부의 SEM 이미지이다.

도 3은 본 발명에 따른 임피던스 측정 실험 셋업 사진이다.

도 4는 개발한 미세전극의 임피던스 측정 실험 결과로서 (a) 금속 기반 전극과 개발한 VACNT 기반 전극의 임피던스 결과, (b) 개발한 VACNT 기반 전극의 반복 구부림 전/후 및 펄스 전압 반복 주입 전/후의 임피던스 결과, (c) 개발한 VACNT 기반 전극에 biphasic pulse를 주입한 전후 임피던스 측정 결과 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 구체적으로 설명하고자 한다.

[0030] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0031] 본 발명에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0033] 실시예

[0034] 본 발명에 따른 유연 미세전극 어레이의 제조방법의 예시도를 도 1에 나타내었고, 이를 하기 실시예 1 내지 3에 상세히 설명하였다.

[0036] 실시예 1. 마이크로 구조가 있는 실리콘 웨이퍼 몰드 제작

[0037] 4인치 산화막 웨이퍼에 20 μm 크기의 정사각형 어레이(가로 4개, 세로 4개) 패턴을 만들기 위해 포토리소그래피 공정을 진행한다. 정사각형 형태의 신호측정부에는 PR이 제거된 상태이며, 이후 패터닝된 웨이퍼를 Buffered Oxide Etchant (BOE) 용액 내에서 3분간 습식 식각을 진행하여 신호측정부의 Oxide layer를 제거하였다. 신호측정부의 Si 층을 피라미드 형상으로 식각하기 위해 Tetramethylammonium hydroxide (TMAH) 10 % 용액 내에서 습식 식각을 약 2시간동안 진행하였다. 이후 cleaning 공정을 진행하여 피라미드 형태의 홈이 있는 실리콘 웨이퍼 몰드 제작을 완료하였다.

[0039] 실시예 2. 실리콘 웨이퍼 몰드의 신호측정부 내에 수직정렬된 탄소나노튜브 (Vertically Aligned Carbon Nanotubes, VACNT) 패터닝

[0040] 실리콘 웨이퍼 몰드의 신호측정부에 VACNT 합성을 위한 철 촉매 증착을 진행하기 위해 포토리소그래피 공정을 진행하여 패턴을 만들고 난 뒤, 철 촉매를 4 nm 증착하였다. 아세톤 bath 내에서 리프트 오프 공정을 진행하여

몰드의 신호측정부 내부에만 철 촉매를 형성하였다. 화학 기상 증착법 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 공정을 통해 실리콘 몰드의 신호측정부에 VACNT 다발을 합성하였다. 우선, 퀴츠튜브 안에 실리콘 웨이퍼 몰드를 넣고, 진공 상태를 만들었다. 진공 상태에 도달 후, N₂를 100 sccm 만큼 흘려주는 환경 내에서 710 °C까지 온도를 높였다. 이후 NH₃가 100 sccm 만큼 흐르는 환경 내에서 30분간 유지한 뒤, 30분 이후 C₂H₂ 를 70 sccm 의 유량으로 15분간 흘려주었다. 마지막으로 다시 N₂ 환경에서 온도를 상온까지 낮추었다.

[0042] 실시예 3. 유연 미세전극 어레이 제작

[0043] VACNT가 합성된 실리콘 웨이퍼 몰드 위에 스퍼터 기기를 이용하여 Cr 20 nm 증착 후 Au 150 nm를 증착하여 몰드에 합성된 VACNT의 상부를 metallization 하였다. 이후 포토리소그래피 공정을 통해 패터를 만든 뒤 Au etchant와 Cr etchant를 차례대로 사용하여 VACNT가 없는 부분의 금속층을 모두 습식 식각하였다. 유연전극의 절연층 형성을 위해 감광성 폴리이미드를 2000 rpm으로 코팅하고 포토리소그래피 공정을 진행한 뒤 250 °C에 2시간 동안 경화하여 CNT가 있는 신호측정부를 제외한 영역에 약 5 µm 두께를 갖는 폴리머 층을 형성하였다. 이후, Cr 10 nm, Au 100 nm를 차례로 증착한 뒤 앞선 공정과 동일한 방식으로 포토리소그래피 공정, 습식 식각 공정을 진행하여 전극층 패터닝을 진행하였다. 전극층이 형성된 폴리머에 폴리이미드를 2000 rpm, 30초간 코팅한 뒤 250 °C에서 2시간 동안 경화하여 절연층을 형성하였다. 이후 폴리이미드 기반의 유연 전극을 실리콘 웨이퍼 몰드와 분리하기 위해, 유연전극의 가장자리를 면도 날 (Razor blade) 을 이용하여 trimming을 진행한 뒤 이것을 BOE 용액에 넣어 실리콘 웨이퍼 몰드의 Oxide layer를 식각함으로써 실리콘 웨이퍼 몰드와 유연전극 어레이를 분리하여 최종적인 디바이스를 얻었다.

[0045] 실험예 1: 미세전극 이미지 분석

[0046] 제작한 유연전극 어레이의 이미지 확인을 위해 핸드폰 카메라, 광학 현미경, 이온 주사 현미경 (Scanning Electron Microscopy, SEM) 을 사용하였다. 그 결과를 도 2에 나타내었다.

[0047] 도 2에 도시된 것과 같이, 도 2의 a는 웨이퍼 몰드와 분리된 후 얻은 유연전극 어레이를 핸드폰 (iphone 11pro) 으로 촬영한 사진이다. 사진의 왼쪽 전극은 16개의 채널을 갖는 유연전극 어레이이며, 오른쪽은 32개의 채널을 갖는 유연전극 어레이이다. 도 2의 b는 제작한 16채널 유연전극 어레이를 광학 현미경 (MS Tech사 제품)을 이용하여 촬영한 사진이다. 그림의 빨간 사각형의 사진은 유연전극 어레이의 상단부에 위치한 16개의 신호측정부 어레이이다. 검은 정사각형은 VACNT가 포함된 신호측정부이며, 각 채널마다 금속 전극이 연결되어 있는 것을 확인할 수 있다. 파란 사각형의 사진은 유연전극의 금속 라인을 촬영한 사진으로, 폴리이미드층 내부에 전극이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 보라색 사각형의 사진은 유연전극 어레이의 커넥터 연결부로서, 금속 전극이 직사각형 형태로 외부에 노출되어 커넥터에 부착되어 있는 금속 배선과 연결도리 수 있음을 확인할 수 있다. 도 2의 c는 이온주사현미경 (JSM-IT-500HR)을 이용하여 유연전극 어레이의 신호측정부를 촬영한 사진이다. 사진에서는 피라미드 형상의 신호측정부가 형성되어 있고, 신호측정부의 중앙부에 VACNT가 폴리머 내부에 포함되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이미지의 가운데 짙은 회색 영역이 VACNT가 포함된 신호측정부 영역이다. 도 2 c를 통해 신호측정부 외부에 VACNT가 많이 노출되어 있음을 확인하였고, 전극 표면의 표면적이 증가하는 효과를 통해 전극의 임피던스 측정 실험 시 임피던스 결과가 개선될 수 있음을 예측하였다.

[0049] 실험예 2: 임피던스 측정

[0050] 제작한 유연전극 어레이의 임피던스 측정 실험을 위해 도 3과 같이 셋업을 구성하였다. 제작한 유연전극 어레이는 상용 f-PCB 커넥터에 연결하였다. 3전극 실험 시스템을 구축하기 위해, 기준전극으로 Ag/AgCl 전극(MF-2052), 상대전극으로 Pt와이어 전극(CHI115), 작업전극으로 유연전극 어레이를 전기화학분석기(ZIVE SP5, Wonatech)의 각각에 해당하는 와이어에 연결하고, 전해질 용액 (Phosphate-buffered saline, PBS)에 전극들을 넣었다. 이후, 전기화학 임피던스 분광법 (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) 을 시행하였다. 10~105Hz 의 주파수 범위 내에서 임피던스를 측정하였다. 그 결과를 도 4에 나타내었다.

[0051] 도 4에 도시된 것과 같이, 도 4의 a 에서는, VACNT가 포함된 유연전극 어레이와 VACNT가 없이 금속으로만 이루어진 전극 어레이의 임피던스를 측정하였다. 모든 주파수 영역에서 VACNT 기반 전극이 더 낮은 임피던스를 보였으며, 생체 신호의 주파수대와 비슷한 영역인 1kHz에서의 임피던스를 비교하였을 때 VACNT 기반 전극의 임피던

스가 5.6 k Ω , 금속 기반 전극의 임피던스가 84.5 k Ω 인 것을 확인하였다.

[0052]

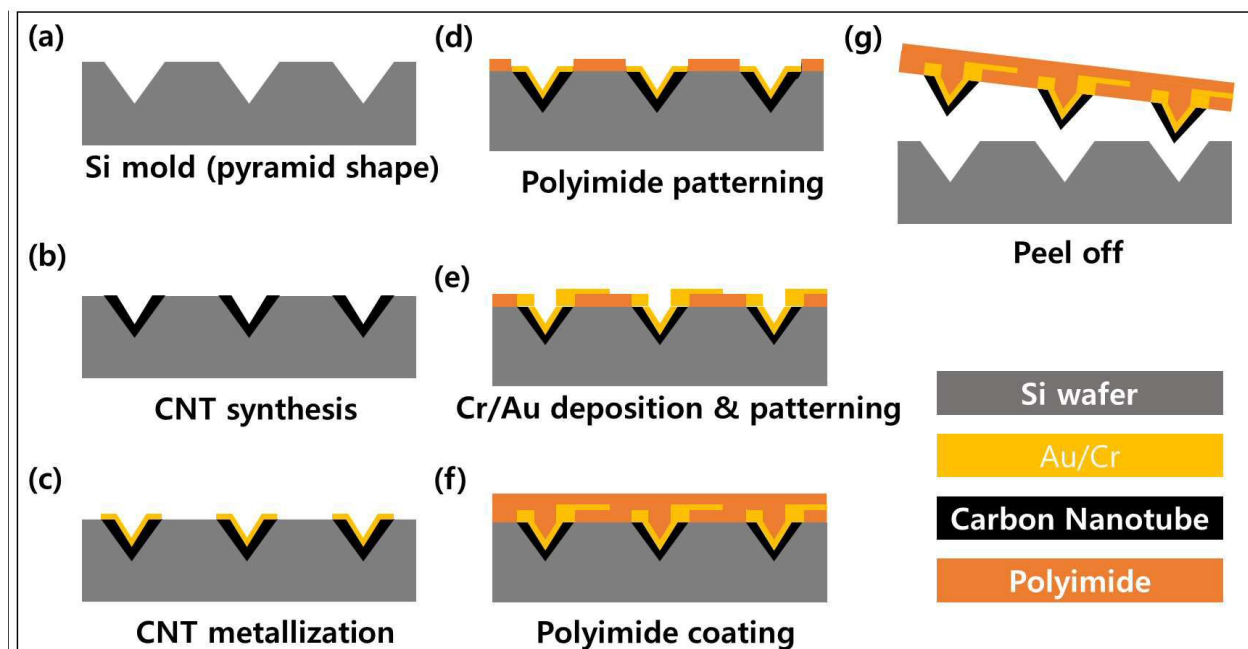
도 3의 b 는 유연전극 어레이를 반복 굽힘한 뒤 임피던스를 측정하였을 때 전극의 파괴 및 변형으로 인해 성능 변화가 있는지 확인하기 위해 진행한 실험이다. 3D 프린터(METHOD X, makerbot)을 이용하여 반경 1.5 mm의 둥근 면을 갖는 블록을 제작하였다. 제작한 블록의 표면을 따라 유연전극 어레이를 굽힌 뒤 다시 피는 것을 1회 굽힘으로 규정하고, 이를 10, 100, 1000회 반복한 뒤 앞선 실험과 동일한 실험 셋업과 방법으로 임피던스 측정 실험을 진행하였다. 실험 결과, 1kHz의 주파수에서 초기 임피던스는 4.2 k Ω , 10회 굽힘 후 4.4 k Ω , 100회 굽힘 후 4.5 k Ω , 1000회 굽힘 후 5.0 k Ω 로 측정되었으며, 본 실험 결과를 통해 굽힘 전 대비 1000번 굽힘 하였을 때 약 19% 증가가 있음을 확인하였다.

[0053]

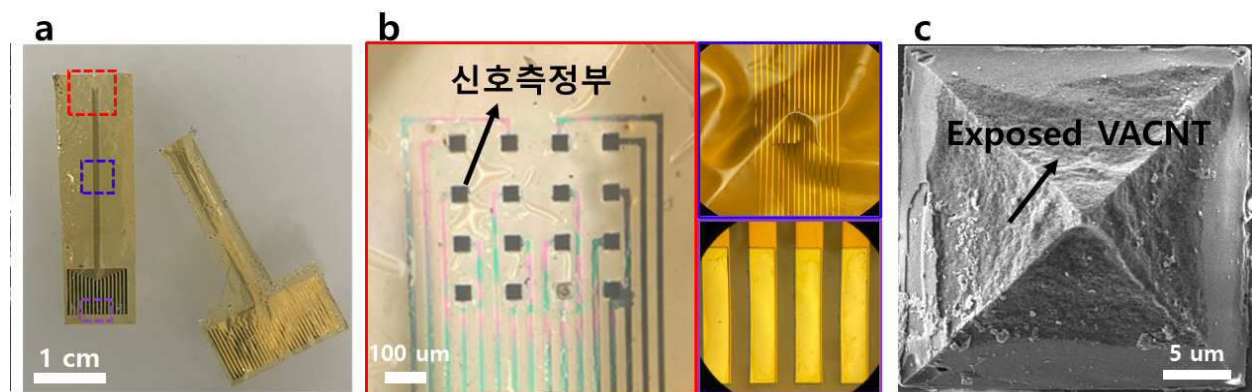
도 3의 c 는 유연전극 어레이에 106회의 biphasic pulse (1V, 200 us)를 주입한 전후의 임피던스 측정 실험을 진행한 결과이다. Biphasic pulse는 전기화학분석기를 통해 주입하였으며, 실험 셋업은 이전 실험과 동일하다. 펄스 전압의 반복 주입 후에도 임피던스 측정 결과의 변화가 미미하여 (펄스 주입 전: 4.3 k Ω , 주입 후: 4.2 k Ω) 유연 전극 어레이를 생체 신호 측정용 전극으로 활용했을 경우, 체내에서 발생하는 다양한 전기적 자극에 파괴되지 않음을 기대할 수 있다.

도면

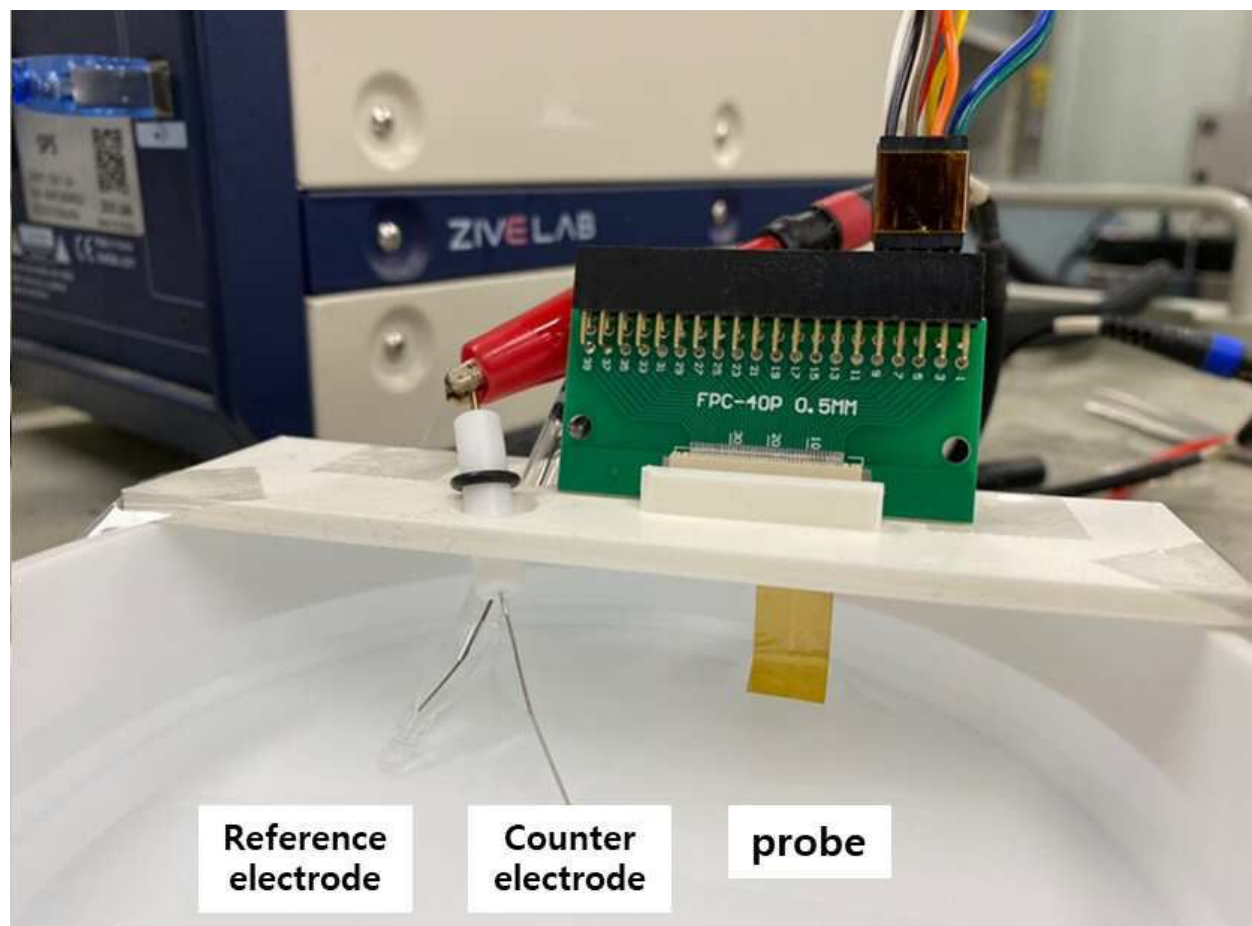
도면1



도면2



도면3



도면4

