



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0041033
(43) 공개일자 2024년03월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61F 2/70 (2006.01) A61F 2/54 (2006.01)

A61F 2/60 (2006.01)

(52) CPC특허분류

A61F 2/70 (2021.01)

A61F 2/54 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0120072

(22) 출원일자 2022년09월22일

심사청구일자 2022년09월22일

(71) 출원인

재단법인 아산사회복지재단

서울특별시 송파구 올림픽로43길 88 (풍납동)

재단법인대구경북과학기술원

대구 달성군 현풍읍 테크노중앙대로 333

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

서현석

서울특별시 송파구 잠실로 62 트리지움 337동
2602호

홍준표

서울특별시 강남구 선릉로 120 개포1,2차우성아파트 9동

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

제일특허법인(유)

전체 청구항 수 : 총 17 항

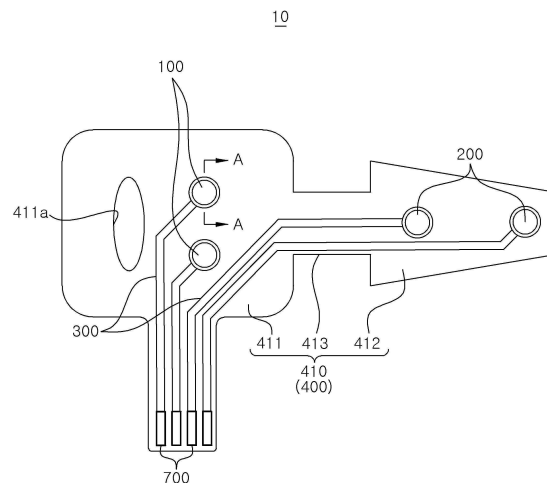
(54) 발명의 명칭 재생 말초신경 인터페이스 및 그 제조방법

(57) 요약

재생 말초신경 인터페이스 및 그 제조방법이 개시된다.

이 중에서 재생 말초신경 인터페이스는 말초신경으로부터 신경 신호를 획득하는 신경 전극과, 근육조직으로부터 근육 신호를 획득하는 근육 전극과, 신경 전극 및 근육 전극을 회로 단자에 전기적으로 연결하기 위한 채널 전극과, 신경 전극, 근육 전극 및 채널 전극의 적어도 일부를 감싸는 형상기억폴리머를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61F 2/601 (2013.01)

(72) 발명자

박창식

서울특별시 강남구 압구정로29길 23 현대아파트

이상훈

대구광역시 달성군 현풍읍 테크노중앙대로 333 대구경북과학기술원

조영준

대구광역시 달성군 현풍읍 테크노중앙대로 333 대구경북과학기술원

신희재

대구광역시 달성군 현풍읍 테크노중앙대로 333 대구경북과학기술원

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711174509

과제번호 KD000196

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 범부처전주기의료기기연구개발사업단

연구사업명 범부처전주기의료기기연구개발사업(R&D)

연구과제명 상하지 로봇의 직관적 컨트롤 (Intuitive control)을 위한 생체신호 인식형 바이오

닉 인터페이스 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 서울아산병원

연구기간 2022.03.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

말초신경으로부터 신경 신호를 획득하기 위한 신경 전극;
근육조직으로부터 근육 신호를 획득하기 위한 근육 전극;
상기 신경 전극 및 상기 근육 전극을 회로 단자에 전기적으로 연결하기 위한 채널 전극; 및
상기 신경 전극, 상기 근육 전극 및 상기 채널 전극의 적어도 일부를 감싸는 형상기억폴리머를 포함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 형상기억폴리머는
상기 신경 전극이 배치되고, 결속홀이 형성되는 결속형 바디부;
상기 근육 전극이 배치되고, 상기 결속홀에 삽입 가능하도록 양측 가장자리가 경사지게 형성되는 결속형 헤드부; 및
상기 결속형 바디부와 상기 결속형 헤드부 사이를 연결하는 결속형 커넥팅부를 포함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
상기 결속홀은
상기 결속형 커넥팅부에 연결되는 상기 결속형 헤드부의 기반부 너비보다 작고, 상기 결속형 헤드부의 선단부 너비보다 더 크게 형성되고,
상기 결속형 헤드부는 상기 결속형 바디부가 상기 말초신경을 감쌀 때, 상기 결속홀에 삽입되어 고정 가능한,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 형상기억폴리머는
상기 신경 전극이 배치되고, 상기 말초신경이 관통가능한 복수 개의 바디홀을 제공하는 비결속형 바디부; 및
상기 근육 전극이 배치되고, 상기 비결속형 바디부의 일단에 연장 형성되며, 상기 복수 개의 바디홀이 배열되는 방향과 나란한 방향으로 배열되는 헤드홀을 제공하는 비결속형 헤드부를 포함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 5

제 4 항에 있어서,
상기 형상기억폴리머는
회로 단자가 배치되고, 상기 비결속형 바디부의 일측부에 수직방향으로 연장 형성되는 비결속형 테일부를 더 포

함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 6

제 4 항에 있어서,
상기 비결속형 바디부에는
쌍을 이루는 상기 신경 전극이 상기 복수 개의 바디홀 사이에 배치되고, 서로 다른 신경 전극에 연결되는 채널 전극이 상기 복수 개의 바디홀을 사이에 두고 이격 배치되는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 7

제 4 항에 있어서,
상기 비결속형 헤드부에는
쌍을 이루는 상기 신경 전극의 사이 간격보다 적어도 더 작은 너비의 상기 헤드홀이 형성되는
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
상기 신경 전극 상에 전기 증착되는 전도성 물질을 더 포함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 9

제 8 항에 있어서,
상기 전도성 물질은
이리듐옥사이드(IrO_2), 금(Au), 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 검은백금(Pt-black), 티타늄 질화물(Titanium nitride), 피이디오티/피에스에스(PEDOT:PSS) 전도성 고분자 물질, 몰리브덴(Molybdenum) 중 하나 이상을 포함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
상기 형상기억폴리머는
상기 신경 전극, 상기 근육 전극 및 상기 채널 전극의 일면에 코팅되는 제1 폴리머층; 및
상기 신경 전극, 상기 근육 전극 및 상기 채널 전극의 타면에 코팅되는 제2 폴리머층을 포함하는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 11

제 10 항에 있어서,
상기 제2 폴리머층은
상기 신경 전극 및 상기 근육 전극의 적어도 일부가 노출되도록 에칭 처리되는,
재생 말초신경 인터페이스.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 신경 전극 및 상기 근육 전극은,

상기 형상기억폴리머에서 교차방향으로 배치되도록 쌍을 이루는 바이폴라 전극으로 구성되고, 상기 말초신경을 감싸게 배치될 때, 상기 말초신경을 중심으로 수직 방향에 위치되는,

재생 말초신경 인터페이스.

청구항 13

희생층이 코팅된 웨이퍼 상에 형상기억폴리머의 혼합액을 1차 코팅하여 제1 폴리머층을 형성하는 단계;

신경 전극, 근육 전극 및 채널 전극을 포함하는 금속 전극층을 제1 폴리머층 상에 형성하는 단계;

형상기억폴리머의 혼합액을 금속 전극층 상에 2차 코팅하여 제2 폴리머층을 형성하는 단계;

신경 전극 및 근육 전극의 적어도 일부가 노출되도록 상기 제2 폴리머층을 에칭하는 단계; 및

형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계를 포함하는,

재생 말초신경 인터페이스의 제조방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 제2 폴리머층을 에칭하는 단계 이후, 노출된 상기 신경 전극 및 근육 전극 상에 전도성 물질을 전기 증착하는 단계를 더 포함하는,

재생 말초신경 인터페이스의 제조방법.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계는,

상기 형상기억폴리머를 버클 형상의 결속형 폴리머로 식각하고,

상기 결속형 폴리머는 신경 전극이 배치되고 결속홀이 형성되는 결속형 바디부와, 근육 전극이 배치되고 결속홀에 삽입 가능하도록 양측 가장자리가 경사지게 형성되는 결속형 헤드부와, 및 상기 결속형 바디부와 상기 결속형 헤드부 사이를 연결하는 결속형 커넥팅부를 포함하는,

재생 말초신경 인터페이스의 제조방법.

청구항 16

제 13 항에 있어서,

상기 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계는,

상기 형상기억폴리머를 비결속 형상의 비결속형 폴리머로 식각하고,

상기 비결속형 폴리머는 신경 전극이 배치되고 말초신경이 관통가능한 복수 개의 바디홀을 제공하는 비결속형 바디부와, 근육 전극이 배치되고 상기 비결속형 바디부의 일단에 연장 형성되며 복수 개의 바디홀과 동일 연장선상에 배치되는 헤드홀을 제공하는 비결속형 헤드부를 포함하는,

재생 말초신경 인터페이스의 제조방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 전도성 물질은

이리듐옥사이드(IrO_2), 금(Au), 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 검은백금(Pt-black), 티타늄 질화물(Titanium nitride), 피이디오티/피에스에스(PEDOT:PSS) 전도성 고분자 물질, 몰리브덴(Molybdenum) 중 하나 이상을 포함하는,

재생 말초신경 인터페이스의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 재생 말초신경 인터페이스 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 동맥경화, 당뇨, 버기씨와 같은 질병이나, 교통사고 또는 산업재해에 의한 외상이나, 감염, 종양, 선천적 기형 등에 의해서, 신체에 대한 절단 장애는 선천적 또는 후천적으로 발생될 수 있다.

[0003] 신체의 절단 장애는 대부분 의수, 의지, 보조기의 착용 및 훈련을 통하여 재활될 수 있다. 그러나 절단 장애에 대한 재활은 아주 단순한 작업 외에는, 실제 물건을 만지는 느낌을 받거나, 글을 쓰는 등의 복잡한 작업을 할 수 없다는 한계가 있다. 절단 장애에 사용되는 인공 의수나 의족은, 바디파워 또는 표면 근전도에 의해 동작 의도를 판별하고 있으나, 낮은 인식률 및 오작동으로 인하여 환자들로부터 외면받고 있는 실정이다.

[0004] 이에 절단된 부위에 남아 있는 신경을 통해, 인공 의수 및 의족을 자신의 의지대로 움직이는 기술 개발이 요구되고 있고, 이를 위해, 재생 말초신경 인터페이스(Regenerative Peripheral nerve interface; RPNI)에 대한 기술이 연구되고 있다.

[0005] 재생 말초신경 인터페이스(Regenerative Peripheral nerve interface; RPNI)를 절단 장애를 가진 환자에 적용하는 경우, 재생 말초신경 인터페이스의 근육 부분을 관통하는 근육 내(Intramuscular) 형태의 와이어 전극을 이식한다. 재생 말초신경 인터페이스는 근육부분의 신호를 수집하고 분석하여 신경보철에 적용하고 의지 기반 신경보철을 구동할 수 있다.

[0006] 종래 재생 말초신경 인터페이스의 신호를 획득하기 위하여, 와이어 전극을 관통하여 이식하는 경우, 신호 대 잡음비를 줄일 수 있다는 장점이 있지만, 근육조직의 손상을 초래할 수 있다. 또한, 바이오닉 팔 또는 다리 구동에 있어서 신호의 획득뿐 아니라, 신경자극을 통한 감각전달 기능이 필요하지만, 종래 방식으로는 감각전달에 한계가 있다.

[0007] 이에, 재생 말초신경 인터페이스의 신호를 통한 바이오닉 팔의 직관적인 구동이 가능하지만, 재생 말초신경 인터페이스의 신호는 실제 근육신호 및 실제 신경신호와도 형태가 다소 다르기 때문에, 보다 많은 정보를 가지고 있는 신경신호 리코딩과 함께 신경자극을 통한 감각전달 기술이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 공개특허공보 10-2013-0106639호(2013. 09. 30 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 실시예들은 상기와 같은 배경에서 발명된 것으로서, 말초신경인터페이스 및 근육조직의 이식을 통해 하나의 인터페이스로 신경 및 근육조직과의 전극 접촉을 동시에 구현할 수 있는 재생 말초신경 인터페이스 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일 측면에 따르면, 말초신경으로부터 신경 신호를 획득하는 신경 전극; 근육조직으로부터 근육 신호를 획득하는 근육 전극; 상기 신경 전극 및 상기 근육 전극을 회로 단자에 전기적으로 연결하기 위한 채널 전극; 및 상기 신경 전극, 상기 근육 전극 및 상기 채널 전극의 적어도 일부를 감싸는 형상기억폴리머를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 형상기억폴리머는 상기 신경 전극이 배치되고, 결속홀이 형성되는 결속형 바디부; 상기 근육 전극이 배치되고, 상기 결속홀에 삽입 가능하도록 양측 가장자리가 경사지게 형성되는 결속형 헤드부; 및 상기 결속형 바디부와 상기 결속형 헤드부 사이를 연결하는 결속형 커넥팅부를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 결속홀은 상기 결속형 커넥팅부에 연결되는 상기 결속형 헤드부의 기반부 너비보다 작고, 상기 결속형 헤드부의 선단부 너비보다 더 크게 형성되고, 상기 결속형 헤드부는 상기 결속형 바디부가 상기 말초신경을 감쌀 때, 상기 결속홀에 삽입되어 고정 가능한, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 형상기억폴리머는 상기 신경 전극이 배치되고, 상기 말초신경이 관통가능한 복수 개의 바디홀을 제공하는 비결속형 바디부; 및 상기 근육 전극이 배치되고, 상기 비결속형 바디부의 일단에 연장 형성되며, 상기 복수 개의 바디홀과 동일 연장선상에 배치되는 헤드홀을 제공하는 비결속형 헤드부를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 형상기억폴리머는 회로 단자가 배치되고, 상기 비결속형 바디부의 일측부에 수직방향으로 연장 형성되는 비결속형 테일부를 더 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 비결속형 바디부에는 쌍을 이루는 상기 신경 전극이 상기 복수 개의 바디홀 사이에 배치되고, 서로 다른 신경 전극에 연결되는 채널 전극이 상기 복수 개의 바디홀을 사이에 두고 이격 배치되는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 비결속형 헤드부에는 쌍을 이루는 상기 신경 전극의 사이 간격보다 적어도 더 작은 너비의 상기 헤드홀이 형성되는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 신경 전극 상에 전기 증착되는 전도성 물질을 더 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 전도성 물질은 이리듐옥사이드(IrO_2), 금(Au), 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 검은백금(Pt-black), 티타늄 질화물(Titanium nitride), 피이디오티/피에스에스(PEDOT:PSS) 전도성 고분자 물질, 몰리브덴(Molybdenum) 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 형상기억폴리머는 상기 신경 전극, 상기 근육 전극 및 상기 채널 전극의 일면에 코팅되는 제1 폴리머층; 및 상기 신경 전극, 상기 근육 전극 및 상기 채널 전극의 타면에 코팅되는 제2 폴리머층을 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 제2 폴리머층은 상기 신경 전극 및 상기 근육 전극의 적어도 일부가 노출되도록 에칭 처리되는, 재생 말초신경 인터페이스가 제공될 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 신경 전극 및 상기 근육 전극은, 상기 형상기억폴리머에서 교차방향으로 배치되도록 쌍을 이루는 바이폴라 전극으로 구성되고, 상기 말초신경을 감싸게 배치될 때, 상기 말초신경을 중심으로 수직 방향에 위치될 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 측면에 따르면, 회생층이 코팅된 웨이퍼 상에 형상기억폴리머의 혼합액을 1차 코팅하여 제1 폴리머층을 형성하는 단계; 신경 전극, 근육 전극 및 채널 전극을 포함하는 금속 전극층을 제1 폴리머층 상에 형성하는 단계; 형상기억폴리머의 혼합액을 금속 전극층 상에 2차 코팅하여 제2 폴리머층을 형성하는 단계; 신경 전극 및 근육 전극의 적어도 일부가 노출되도록 상기 제2 폴리머층을 에칭하는 단계; 및 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법이 제공될 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 제2 폴리머층을 에칭하는 단계 이후, 노출된 상기 신경 전극 및 근육 전극 상에 전도성 물질을 전기 증착하는 단계를 더 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법이 제공될 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계는, 상기 형상기억폴리머를 버클 형상의 결속형 폴리머로 식각하고, 상기 결속형 폴리머는 신경 전극이 배치되고 결속홀이 형성되는 결속형 바디부와, 근육 전극

이 배치되고 결속홀에 삽입 가능하도록 양측 가장자리가 경사지게 형성되는 결속형 헤드부와, 및 상기 결속형 바디부와 상기 결속형 헤드부 사이를 연결하는 결속형 커넥팅부를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법이 제공될 수 있다.

[0025] 또한, 상기 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계는, 상기 형상기억폴리머를 비결속 형상의 비결속형 폴리머로 식각하고, 상기 비결속형 폴리머는 신경 전극이 배치되고 말초신경이 관통가능한 복수 개의 바디홀을 제공하는 비결속형 바디부와, 근육 전극이 배치되고 상기 비결속형 바디부의 일단에 연장 형성되며 복수 개의 바디홀과 동일 연장선상에 배치되는 헤드홀을 제공하는 비결속형 헤드부를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법이 제공될 수 있다.

[0026] 또한, 상기 전도성 물질은 이리듐옥사이드(IrO_2), 금(Au), 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 검은백금(Pt-black), 티타늄 질화물(Titanium nitride), 피이디오티/피에스에스(PEDOT:PSS) 전도성 고분자 물질, 몰리브덴(Molybdenum) 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 실시예들에 의하면, 근육조직을 절단한 신경에 삽입함으로써, 절단된 신경에서의 신경종 형성을 획기적으로 줄일 수 있고, 근육조직으로부터 생체적으로 증폭된 신호를 획득할 수 있다는 효과가 있다.

[0028] 또한, 본 발명의 실시예들에 의하면, 신경종의 통증을 감소시킬 수 있고, 신경공학적 관점에서 신경에 이식된 근육조직이 신경신호를 증폭시킬 수 있고, 증폭된 신경신호는 신경 및 근육 신호의 획득을 쉽게 할 수 있으며, 이는 신호들을 이용하는 신경보철의 더 나은 제어를 구현할 수 있다는 효과가 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 실시예들에 의하면, 말초신경 및 근육조직에 이식 가능하고, 말초신경과 근육조직에 동시 전극 접촉을 구현함으로써, 하나의 인터페이스를 통해 신경자극 및 신경신호 리코딩, 그리고 재생 말초신경 인터페이스(Regenerative Peripheral nerve interface; RPNI)의 신호 리코딩 및 RPNI 자극이 가능하다는 효과가 있다.

[0030] 또한, 본 발명의 실시예들에 의하면, 신호 리코딩을 위한 전극 부분을 형상기억폴리머를 이용한 다채널 신경 전극으로 대체함으로써, 신경신호와 RPNI 신호를 동시에 리코딩할 수 있고, 신경신호와 RPNI 신호의 상관관계에 대한 조사가 가능하다는 효과가 있다.

[0031] 또한, 본 발명의 실시예들에 의하면, 의지기반 신경보철의 구동이라는 관점에서, RPNI 신경신호 및 근육신호의 동시 리코딩은 단순한 근육신호 리코딩에 비해 2배의 입력 데이터가 존재하기 때문에 더 정확하고, 세밀한 신경보철 구동을 가능하게 하고, 신경에 접촉한 신경 전극의 채널을 통해 신경 자극을 통한 감각전달을 가능하게 하며, 이를 통해, 의지기반 신경보철에서 감각 피드백을 통한 신경보철 제어가 가능하다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 재생 말초신경 인터페이스(결속형 인터페이스)를 도시한 구성도이다.

도 2는 도 1의 "A-A"선부를 절개하여 도시한 단면도이다.

도 3 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 재생 말초신경 인터페이스(결속형 인터페이스)의 제조과정을 도시한 상태도이다.

도 6 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 재생 말초신경 인터페이스를 말초신경 및 근육조직에 이식하는 과정을 도시한 상태도이다.

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 재생 말초신경 인터페이스(비결속형 인터페이스)를 도시한 구성도이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 재생 말초신경 인터페이스를 말초신경 및 근육조직에 이식하는 과정을 도시한 상태도이다.

도 13은 본 발명의 다른 실시예의 변형에 따른 재생 말초신경 인터페이스(비결속형 인터페이스)를 도시한 구성도이다.

도 14는 본 발명의 다른 실시예의 변형에 따른 재생 말초신경 인터페이스를 말초신경 및 근육조직에 이식하는 과정을 도시한 상태도이다.

도 15는 본 발명에 따른 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법을 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 이하에서는 본 발명의 사상을 구현하기 위한 구체적인 실시예에 대하여 도면을 참조하여 상세히 설명하도록 한다.
- [0034] 아울러 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0035] 또한, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결', '지지', '접속', '공급', '전달', '접촉'된다고 언급된 때에는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결, 지지, 접속, 공급, 전달, 접촉될 수도 있지만 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0036] 본 명세서에서 사용된 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로 본 발명을 한정하려는 의도로 사용된 것은 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다.
- [0037] 또한, 본 명세서에서 상측, 하측, 측면 등의 표현은 도면에 도시를 기준으로 설명한 것이며 해당 대상의 방향이 변경되면 다르게 표현될 수 있음을 미리 밝혀둔다. 마찬가지로 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다.
- [0038] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 이와 같은 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 이 용어들은 하나의 구성요소들을 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0039] 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0040] 이하, 도 1 내지 도 14를 참고하여 본 발명에 따른 재생 말초신경 인터페이스의 구체적인 구성에 대하여 설명한다.
- [0041] 도 1 내지 도 2를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 재생 말초신경(31) 인터페이스(10)는, 말초신경(31) 및 근육조직에 이식을 통한 신경과의 전극 접촉을 통해, 신경자극 및 신경신호의 리코딩(recording)이 가능하고, 형상기억폴리머(400)를 활용하여 목적에 따른 온도변화에 따라 형상기억형상 및 열가소성(thermo softening) 효과를 제공할 수 있다. 이러한 재생 말초신경(31) 인터페이스(10)는, 신경 전극(100), 근육 전극(200), 채널 전극(300) 및 형상기억폴리머(400)를 포함할 수 있다.
- [0042] 구체적으로, 신경 전극(100)은 말초신경(31)으로부터 신경 신호를 획득할 수 있다. 신경 전극(100)은 쌍을 이루는 바이폴라(bipolar) 전극일 수 있다. 신경 전극(100)은 형상기억폴리머(400)에서 근육 전극(200)과 교차방향으로 배치될 수 있다. 일 예로, 쌍을 이루는 신경 전극(100)의 가상의 연장선은, 쌍을 이루는 근육 전극(200)의 가상의 연장선과 교차될 수 있다.
- [0043] 신경 신호를 바이폴라 방식으로 리코딩하기 위해서, 쌍을 이루는 신경 전극(100)간 거리는, 2 mm 이상으로 설정될 수 있다. 또한, 안정적인 신경 신호의 리코딩을 위해서, 신경 전극(100)의 임피던스는 타겟 신경신호 주파수 1 kHz 에서 10 k Ω 이내일 수 있다. 보다 바람직하게, 신경 전극(100)의 임피던스는 1~2 k Ω 정도의 낮은 임피던스일 수 있다. 신경 전극(100)의 임피던스가 10 k Ω 보다 높을 경우, 배경 노이즈 신호(background noise signal)가 높게 기록될 수 있기 때문에, 신호 대 잡음비(Signal-to-noise-ratio: SNR)가 낮게 나올 수 있다. 신호 대 잡음비(SNR)가 높을수록 높은 품질의 기록의 성능이라 할 수 있다. 본 실시예에서는, 신경 전극(100)의 임피던스는 타겟 신경신호 주파수인 1 kHz 에서 10 k Ω 이내인 것이 선호되지만, 신경 전극(100)의 임피던스가 100 k Ω 내에서도 신경 신호에 대한 리코딩은 가능하다.
- [0044] 신경 전극(100)의 사이즈가 기 설정된 사이즈보다 작으면, 신경에 접촉된 국소부위(localized)에서의 신경 신호를 기록할 수 있으므로, 기록선택성(recording selectivity)이 향상될 수 있다. 그러나 신경 전극(100)의 사이즈가 기 설정된 사이즈보다 작아질수록 신경 전극(100)의 임피던스 값은 높아질 수 있다. 따라서, 신경 전극(100) 크기와 임피던스는 신경 전극(100)의 재료를 고려하여 선정하는 것이 바람직하다.
- [0045] 신경 전극(100)은 생체적합성 재료인 금(Au) 성분일 수 있다. 물론, 신경 전극(100)은 금(Au) 이외에도, 다른 재료의 전극도 사용 가능하고, 추가적인 코팅으로 전도성을 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라, 신경 전극(100)은

두께를 증가시켜 형상기억폴리머(400) 위로 증착됨으로써, 접촉을 향상시킬 수 있다.

- [0046] 신경 전극(100)은 충분히 낮은 임피던스 확보를 위해, 1 mm 지름을 가질 수 있다. 신경 전극(100)의 크기는 추가 코팅 공정 등을 고려했을 때, 신경 전극(100)은 적어도 50 μm 이상의 크기가 바람직하다.
- [0047] 신경 전극(100)은 전도성 물질(500)을 통해 추가 코팅될 수 있다. 전도성 물질(500)에 의한 추가 코팅이 신경 전극(100)에 이루어지면, 작은 사이즈의 신경 전극(100)에서도 임피던스 값을 충분히 낮출 수 있다. 일 예로, 신경 전극(100) 상에 이리듐옥사이드(IrO_2)와 같은 전도성 물질(500)이 추가 코팅되는 경우, 이 추가 코팅을 통해, 신경 전극(100)의 임피던스는 대폭 낮아질 수 있다. 이리듐 옥사이드의 코팅 결과, 신경 전극(100)의 임피던스는 5배 감소되었음이 확인되었고, 충전저장용량(Charge storage capacity)은 약 11배 증가됨에 따라 상당한 성능 향상이 있음이 확인되었다.
- [0048] 본 실시예에서, 전도성 물질(500)은 이리듐옥사이드(IrO_2)가 사용되었지만, 이리듐옥사이드(IrO_2) 이외에도, 임피던스 값을 낮출 수 있는 다양한 종류의 전도성 물질(500)이 사용될 수 있다. 일 예로, 전도성 물질(500)로는 금(Au), 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 검은백금(Pt-black), 티타늄 질화물(Titanium nitride), 피이디오티;피에스에스(PEDOT:PSS:polystyrene sulfonic acid doped poly-3,4-ethylenedioxythiophene) 전도성 고분자 물질, 몰리브데넘(Molybdenum) 등이 사용될 수 있다.
- [0049] 근육 전극(200)은 근육조직으로부터 근육 신호를 획득할 수 있다. 근육 전극(200)은 쌍을 이루는 바이폴라(bipolar) 전극일 수 있다. 쌍을 이루는 근육 전극(200) 간 거리는, 근육 신호를 바이폴라 방식으로 리코딩하기 위해서, 최소 2 mm 이상에서는 근육 신호를 안정적으로 획득할 수 있다. 물론, 근육 전극(200) 간 거리는, 근육 조직의 크기와 방향에 따라 차이가 발생할 수 있다.
- [0050] 근육 전극(200)은 형상기억폴리머(400)에서 신경 전극(100)과 교차방향으로 배치될 수 있다. 예컨대, 쌍을 이루는 근육 전극(200)의 가상의 연장선은, 쌍을 이루는 신경 전극(100)의 가상의 연장선과 교차될 수 있다. 신경 전극(100)과 근육 전극(200)은 형상기억폴리머(400)에서 교차되게 배치되므로, 재생 말초신경(31) 인터페이스(10)가 말초신경(31)을 감쌀 때, 신경 전극(100)과 근육 전극(200)은 말초신경(31)을 중심으로 서로 수직방향에 위치될 수 있다. 신경 전극(100)과 근육 전극(200)이 말초신경(31)을 중심으로 서로 수직방향에 위치되면, 신호의 리코딩 및 자극의 선택성을 향상시킬 수 있다.
- [0051] 본 실시예에서, 신경 전극(100) 및 근육 전극(200)은 바이폴라(bipolar) 전극인 것으로 설명하였지만, 신경 전극(100) 및 근육 전극(200)은 바이폴라 전극 이외에도, 신경 신호 및 근육 신호를 효과적으로 획득할 수 있는 다양한 형태의 전극으로 구성될 수 있다. 일 예로, 신경 전극(100) 및 근육 전극(200)은 모노폴라 전극 또는 트리폴라 전극, 멀티폴라 전극일 수 있다. 바이폴라 전극 이외의 신경 전극(100)에서, 쌍을 이루는 신경 전극(100)과의 거리는, 최소 2 mm 이상의 간격이 바람직하며, 보다 바람직하게는, 쌍을 이루는 신경 전극(100)과의 거리는, 4 mm 정도의 거리가 최적화된 거리일 수 있다.
- [0052] 채널 전극(300)은 신경 전극(100) 및 근육 전극(200)을 회로 단자(700)에 전기적으로 연결할 수 있다. 회로 단자(700)는 유연성있는 절연기판이 적용된 연성회로기판(FPCB: Flexible PCB)에 포함될 수 있다. 회로 단자(700)는 신경 전극(100) 및 근육신호를 리코딩할 수 있다. 연성회로기판은 매우 얇은 박막(thin film)의 전기적인 연결을 위하여 ACF(Anisotropic Conductive Film) 본딩(bonding)될 수 있다.
- [0053] 채널 전극(300)은 신경 전극(100) 및 근육 전극(200)에서 획득한 신경 신호 및 근육 신호를 회로 단자(700)에 전달할 수 있다. 채널 전극(300)은 원하는 형상기억폴리머(400)의 형상에 맞추어 형상기억폴리머(400)에서 다양한 형태로 배치될 수 있다. 채널 전극(300)의 두께를 모두 0.25 mm 이상 충분히 넓게 설정함으로써, 전도성 및 안정성을 확보할 수 있다.
- [0054] 형상기억폴리머(400: Shape memory polymer, SMP)는 전체적인 전극의 모양 뿐 아니라, 신경 전극(100) 및 근육 전극(200)과 같은 전도성 전극을 절연(insulation)할 수 있다. 또한, 형상기억폴리머(400)는 원하는 부분만 오픈(패터닝)하여 신경 전극(100) 또는 근육 전극(200)과의 접촉 및 연결이 가능하도록 할 수 있다.
- [0055] 형상기억폴리머(400)는 신경 전극(100), 상기 근육 전극(200) 및 채널 전극(300)의 적어도 일부를 감싸는 폴리머층으로 구성될 수 있다. 일 예로, 형상기억폴리머(400)는 신경 전극(100), 근육 전극(200) 및 채널 전극(300)의 일면에 코팅되는 제1 폴리머층(400a)과, 신경 전극(100), 근육 전극(200) 및 채널 전극(300)의 타면에 코팅되는 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다.
- [0056] 도 3을 참고하면, 제1 폴리머층(400a)은 희생층(602: sacrificial layer)인 알루미늄 박막(1 μm)이 코팅된 웨

이때 위에 형상기억폴리머(400)의 혼합액(solution)을 스핀 코팅함으로써, 형성될 수 있다. 형상기억폴리머(400)의 혼합액은 1,3,5-Triallyl-1,3,5-triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione :TATATO, trimethylolpropanetris(3-mercaptopropionate): TMTMP, tricyclodecanedimethanoldiacrylate : TCMDA 의 단위체와 광중합을 위해 광개시제인 2-dimethoxy-2-phenyl-acetophenone :DMPA 를 적절한 비율로 혼합하여 제조될 수 있다. 형상기억폴리머(400)의 혼합액은 365 nm 파장의 자외선 하에서 30분간 광중합을 통해 중합될 수 있다.

[0057] 도 4를 참고하면, 제1 폴리머층(400a)이 형성되면, 포토레지스트(photoresist)와 스퍼터링을 이용한 표준 포토 리소그래피 공정을 통해, 제1 폴리머층(400a)에는 접착층(601: adhesion layer; 크롬(Cr) 또는 티타늄(Ti))과 금속 전도층(신경 전극(100), 근육 전극(200), 채널 전극(300) 등)이 마이크로 패터닝될 수 있다. 접착층과 금속 전도층이 마이크로 패터닝되면, 형상기억폴리머(400)의 혼합액(solution)을 스핀 코팅함으로써, 금속 전도층 및 제1 폴리머층(400a)의 위에는 제2 폴리머층(400b)이 형성될 수 있다.

[0058] 도 5를 참고하면, 제2 폴리머층(400b)이 형성되면, 하드 마스크를 이용하여 패터닝하고 산소 플라즈마를 이용해 반응이온에칭(Reactive ion etching)을 함으로써, 형상기억폴리머(400)가 원하는 모양으로 식각되고 마이크로 패터닝될 수 있다. 이후, 희생층(A1)이 에천트에 의해 녹으면, 재생 말초신경(31) 인터페이스가 획득될 수 있다. 본 실시예에서, 형상기억폴리머(400)는 결속형 폴리머(410) 또는 비결속형 폴리머(420)로 식각될 수 있다.

[0059] 형상기억폴리머(400)는 버클 형태로 말초신경(31)을 감쌀 수 있는 결속형 폴리머(410)로 제공될 수 있다. 결속형 폴리머(410)는 결속형 바디부(411), 결속형 헤드부(412) 및 결속형 커넥팅부(413)를 포함할 수 있다.

[0060] 결속형 바디부(411)는 신경 전극(100) 및 채널 전극(300)이 배치 가능한 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 결속형 바디부(411)에는 결속홀(411a)이 형성될 수 있다. 결속형 폴리머(410)에는 회로 단자(700)가 배치될 수 있다. 결속형 바디부(411)는 결속형 커넥팅부(413)를 통해 결속형 헤드부(412)와 일체로 연결될 수 있다. 결속형 바디부(411)에는 결속홀(411a)이 형성될 수 있다.

[0061] 결속형 폴리머(410)가 말초신경(31)을 감쌀 때, 안정적으로 신경을 전극방향으로 눌러 고정시키기 위해, 결속홀(411a)의 크기(지름)는 전극간의 거리 및 전극크기 등을 고려하여 선정될 수 있다. 예컨대, 결속형 헤드부(412)와 결속형 바디부(411)의 결속홀(411a) 간에 안정적인 버클링 고정을 위하여, 결속홀(411a)은 결속형 커넥팅부(413)에 연결되는 결속형 헤드부(412)의 기반부 너비보다 작고, 결속형 헤드부(412)의 선단부 너비보다 더 크게 형성될 수 있다. 일 예로, 결속형 헤드부(412)의 기반부 너비가 4 mm이고 결속형 헤드부(412)의 선단부 너비가 2 mm일 때, 결속홀(411a)의 크기(지름)는 3 mm일 수 있다.

[0062] 결속형 헤드부(412)는 근육 전극(200) 및 채널 전극(300)이 배치되는 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 결속형 헤드부(412)에는 결속홀(411a)에 삽입 가능하도록 경사지게 형성되는 양측 가장자리가 형성될 수 있다. 결속형 헤드부(412)의 양측 가장리지는 결속형 바디부(411)에서 멀어지는 방향으로 폭이 좁아지도록 경사지게 형성될 수 있다. 결속형 폴리머(410)가 말초신경(31)을 감쌀 때, 결속형 헤드부(412)는 결속형 바디부(411)의 결속홀(411a)에 삽입되어 버클링(buckling) 고정될 수 있다.

[0063] 결속형 커넥팅부(413)는 채널 전극(300)이 배치 가능한 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 결속형 커넥팅부(413)는 결속형 바디부(411)와 결속형 헤드부(412) 사이를 일체로 연결할 수 있다. 결속형 바디부(411)에 연결되는 결속형 커넥팅부(413)의 일단부 너비는, 결속형 헤드부(412)에 연결되는 결속형 커넥팅부(413)의 일단부 너비와 동일할 수 있다.

[0064] 이하에서는 상술한 바와 같은 구성을 갖는 재생 말초신경 인터페이스를 말초신경 및 근육조직에 이식하는 과정에 대하여 설명한다.

[0065] 도 6을 참고하면, 재생 말초신경 인터페이스(10)를 말초신경(31) 및 근육조직(32)에 이식하기 위해, 먼저, 근육 전극(200) 및 제2 폴리머층(400b)이 상방향을 향하도록 형상기억폴리머(400)를 배치한 상태에서, 말초신경(31)을 형상기억폴리머(400)의 상면에 위치시킨다.

[0066] 도 7을 참고하면, 말초신경(31)이 형상기억폴리머(400)의 상면에 위치되면, 형상기억폴리머(400)를 말초신경(31)의 외면에 일방향(도면의 좌측방향)으로 감싸는 동시에, 형상기억폴리머(400)의 결속형 헤드부(412)를 결속형 바디부(411)의 결속홀(411a)에 삽입하여 관통시킨다. 결속형 바디부(411)의 결속홀(411a)에 삽입된 결속형 헤드부(412)는, 결속홀(411a)에 걸려 구속될 수 있다. 이때, 형상기억폴리머(400)의 이면이 상방향을 향하게 배치된다.

- [0067] 도 8을 참고하면, 결속형 헤드부(412)가 결속형 바디부(411)의 결속홀(411a)에 삽입하여 관통되면, 결속형 헤드부(412)를 타방향(도면의 우측방향)으로 180도 꺾는다.
- [0068] 도 9를 참고하면, 결속형 헤드부(412)가 타방향(도면의 우측방향)으로 180도 꺾인 상태에서, 결속형 헤드부(412)를 말초신경(31)에 밀착되도록 말아준다. 이때, 형상기억폴리머(400)의 상면이 상방향을 향하게 배치되므로, 근육전극(200)은 근육조직(32)과 접촉이 가능한 상태가 유지된다.
- [0069] 도 10을 참고하면, 결속형 헤드부(412)를 말초신경(31)에 밀착되도록 말아준 상태에서, 근육조직(32)을 말초신경(31)의 단부에 감싸지도록 덮음으로써, 말초신경(31) 및 근육조직(32)에 대한 재생 말초신경 인터페이스(10)의 이식을 완료한다.
- [0070] 한편, 도 11 내지 도 12를 참고하면, 본 발명의 다른 실시예에 형상기억폴리머(400)는, 전체적으로 일자 형상의 비결속형 폴리머(420)로 제공될 수 있다. 비결속형 폴리머(420)는 비결속형 바디부(421) 및 비결속형 헤드부(422)를 포함할 수 있다.
- [0071] 비결속형 바디부(421)는 신경 전극(100), 채널 전극(300) 및 회로 단자(700)가 배치가능한 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 쌍을 이루는 신경 전극(100)은 1 mm 거리 이상으로 이격되어 배치될 수 있다. 본 실시예에서, 쌍을 이루는 신경 전극(100)과의 거리는 2 mm일 수 있다. 그리고 쌍을 이루는 신경 전극(100)은 동일 선상에 위치한 바디홀(421a)을 사이에 두고 소정 거리 이격되게 배치되는 복수 개로 제공될 수 있다. 바디홀(421a)을 사이에 두고 이격 배치된 신경 전극(100) 사이의 거리는 8.15 mm일 수 있다.
- [0072] 비결속형 바디부(421)에는 말초신경(31)이 관통가능한 복수 개의 바디홀(421a)이 형성될 수 있다. 복수 개의 바디홀(421a)은 비결속형 바디부(421)에서 동일 선상에 위치될 수 있다. 바디홀(421a)은 말초신경(31)이 삽입 가능하도록 말초신경(31)의 직경보다 적어도 더 큰 직경을 가질 수 있다. 비결속형 바디부(421)의 일단에는 비결속형 헤드부(422)가 일체로 연장 형성될 수 있다. 비결속형 바디부(421)에는 서로 다른 신경 전극(100)에 연결되는 채널 전극(300)이 복수 개의 바디홀(421a)을 사이에 두고 상하로 이격 배치될 수 있다.
- [0073] 말초신경(31)이 안정적으로 바디홀(421a)에 통과 및 고정되기 위하여, 비결속형 바디부(421)에는 신경 전극(100)을 사이에 두고 바디홀(421a)이 형성될 수 있다. 비결속형 바디부(421)에는 추가적인 바디홀(421a)이 형성될 수 있다. 바디홀(421a)의 크기는 말초신경(31)이 통과할 수 있어야 하는 최소 크기일 수 있다. 그리고 바디홀(421a)에 삽입된 말초 신경을 안정적으로 전극이 위치한 방향으로 눌러주고 고정시키기 위하여, 바디홀(421a) 및 전극 간의 거리 및 전극 크기를 등은 조절될 수 있다.
- [0074] 말초신경(31)이 비결속형 폴리머(420)에 관통된 후, 비결속형 폴리머(420)가 근육조직에 의해 감싸질 때, 복수 개의 신경 전극(100) 중 적어도 일부의 신경 전극(100)은 근육조직에 의해 감싸지고, 나머지 일부의 신경 전극(100)은 외부에 노출될 수 있다. 이 경우, 신경 전극(100)은 근육조직의 내부와 외부에 위치되므로, 근육조직의 내부와 외부에서의 신경 신호의 기록 및 자극의 차이점이 검증될 수 있다.
- [0075] 비결속형 헤드부(422)는 근육 전극(200) 및 채널 전극(300)이 배치되는 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 쌍을 이루는 근육 전극(200)은 1 mm 거리 이상으로 이격되어 배치될 수 있다. 본 실시예에서, 쌍을 이루는 신경 전극(100)과의 거리는 1 mm일 수 있다. 근육조직의 크기와 방향에 따라 차이가 있지만, 근육 전극(200)은 최소 2 mm 이상에서 근육신호를 디퍼렌셜 바이폴라 리코딩(differential bipolar recording) 방식으로 안정적으로 획득할 수 있다.
- [0076] 비결속형 헤드부(422)에는 말초신경(31)이 관통가능한 헤드홀(422a)이 형성될 수 있다. 헤드홀(422a)은 복수 개의 바디홀(421a)과 동일 선상에 위치될 수 있다. 헤드홀(422a)의 형상은 바디홀(421a)의 형상과 대응되는 형상일 수 있다. 헤드홀(422a)은 쌍을 이루는 신경 전극(100)의 사이 간격보다 적어도 더 작은 너비를 가질 수 있다.
- [0077] 도 13 내지 도 14를 참고하면, 본 발명의 다른 실시예의 변형예에 따르면, 형상기억폴리머(400)는 전체적으로 8자 형상의 비결속형 폴리머(420)로 제공될 수 있다. 형상기억폴리머(400)는 비결속형 바디부(421), 비결속형 헤드부(422) 및 비결속형 테일부(423)를 포함할 수 있다.
- [0078] 비결속형 바디부(421)는 신경 전극(100) 및 채널 전극(300)이 배치가능한 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 쌍을 이루는 신경 전극(100)은 1 mm 거리 이상으로 이격되어 배치될 수 있다. 본 실시예에서, 쌍을 이루는 신경 전극(100)과의 거리는 1.2 mm일 수 있다.
- [0079] 비결속형 바디부(421)는 말초신경(31)이 관통가능한 복수 개의 바디홀(421a)이 형성될 수 있다. 복수 개의 바디

홀(421a)은 비결속형 바디부(421)에서 동일 선상에 위치될 수 있다. 비결속형 바디부(421)의 일단에는 비결속형 헤드부(422)가 일체로 연장 형성될 수 있다. 비결속형 바디부(421)의 측부에는 비결속형 테일부(423)가 일체로 연장 형성될 수 있다.

- [0080] 비결속형 헤드부(422)는 근육 전극(200) 및 채널 전극(300)이 배치되는 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 비결속형 헤드부(422)에는 말초신경(31)이 관통가능한 헤드홀(422a)이 형성될 수 있다. 헤드홀(422a)은 복수 개의 바디홀(421a)과 동일 선상에 위치될 수 있다. 헤드홀(422a)의 형상은 바디홀(421a)의 형상과 대응되는 형상일 수 있다.
- [0081] 비결속형 테일부(423)는 회로 단자(700) 및 채널 전극(300)이 배치가능한 제1 폴리머층(400a) 및 제2 폴리머층(400b)을 포함할 수 있다. 비결속형 바디부(421)의 일측부에서 수직방향으로 일체로 연장 형성될 수 있다.
- [0082] 일자 형상의 비결속형 폴리머(420)의 경우, 회로 단자(700)가 바디홀(421a)과 동일 연장선상에 배치되는 반면, 8자 형상의 비결속형 폴리머(420)에서는, 회로 단자(700)가 바디홀(421a)의 연장선상에서 수직되는 방향에 위치한 비결속형 테일부(423)에 배치된다는 차이가 있다. 8자 형상의 비결속형 폴리머(420)의 경우, 비결속형 테일부(423)가 비결속형 바디부(421)의 측부에서 돌출되므로, 비결속이 발생되어 파손될 가능성이 있으나, 상대적으로 두껍게 패키징이 이루어지는 회로 단자(700)가 비결속형 테일부(423)에 위치되므로, 회로 단자(700)가 직접적으로 말초신경(31)과 접촉하는 것이 방지될 수 있다.
- [0083] 이하에서는 상술한 바와 같은 구성을 갖는 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법에 대하여 설명한다.
- [0084] 도 15를 참고하면, 본 발명에 따른 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법(20)은, 제1 폴리머층을 형성하는 단계(S100)와, 금속 전극층을 제1 폴리머층 상에 형성하는 단계(S200)와, 제2 폴리머층을 형성하는 단계(S300)와, 제2 폴리머층을 에칭하는 단계(S400)와, 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계(S500)를 포함할 수 있다.
- [0085] 상기 제1 폴리머층을 형성하는 단계(S100)에서는, 희생층이 코팅된 웨이퍼 상에 형상기억폴리머의 혼합액을 1차 코팅함으로써, 제1 폴리머층이 형성될 수 있다. 형상기억폴리머의 혼합액은 1,3,5-Triallyl-1,3,5-triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione(TATATO), trimethylolpropanetris(3-mercaptopropionate) (TMTMP), tricyclodecanedimethanoldiacrylate (TCMDA) 중 3가지의 단위체와 광중합을 위해 광개시제인 2-dimethoxy-2-phenyl-acetophenone (DMPA)를 적절한 비율로 혼합하여 제조될 수 있다.
- [0086] 상기 금속 전극층을 제1 폴리머층 상에 형성하는 단계(S200)에서는, 신경 전극, 근육 전극 및 채널 전극을 포함하는 금속 전극층이 제1 폴리머층 상에 형성될 수 있다.
- [0087] 예컨대, 희생층이 코팅된 웨이퍼 상에 제1 폴리머층이 형성되면, 포터레지스트와 스퍼터링을 이용한 표준 포토 리소그래피 공정을 통해, 제1 폴리머층에 접착 층과 금속 전도층을 마이크로 패터닝함으로써, 금속 전극층이 제1 폴리머층 상에 형성될 수 있다.
- [0088] 상기 제2 폴리머층을 형성하는 단계(S300)에서는, 형상기억폴리머의 혼합액을 금속 전극층 상에 2차 코팅함으로써, 제2 폴리머층이 형성될 수 있다. 금속 전극층이 제1 폴리머층 상에 형성되면, 형상기억폴리머의 혼합액을 금속 전도층 및 제1 폴리머층 위에 스핀 코팅함으로써, 금속 전도층 및 제1 폴리머층의 위 제2 폴리머층을 형성시킬 수 있다.
- [0089] 상기 제2 폴리머층을 에칭하는 단계(S400)에서는, 제2 폴리머층이 부분적으로 에칭될 수 있다. 제2 폴리머층에 대한 에칭을 통해, 신경 전극 및 근육 전극의 적어도 일부가 노출될 수 있다.
- [0090] 상기 제2 폴리머층을 에칭하는 단계(S400) 이후, 노출된 신경 전극 및 근육 전극 상에 전도성 물질을 전기 증착할 수 있다. 전도성 물질에 의해 신경 전극 및 근육 전극에 추가 코팅이 이루어지면, 작은 사이즈의 전극에서도 임피던스 값을 충분히 낮출 수 있다. 이때, 사용 가능한 전도성 물질로는, 이리듐옥사이드(IrO₂), 금(Au), 탄소 나노튜브(Carbon Nanotube), 검은백금(Pt-black), 티타늄 질화물(Titanium nitride), PEDOT: PSS 전도성 고분자 물질, 몰리브덴(Molybdenum) 등일 수 있다.
- [0091] 상기 형상기억폴리머를 원하는 형상으로 식각하는 단계(S500)에서는, 형상기억폴리머가 원하는 형상으로 식각될 수 있다. 본 실시예에서, 형상기억폴리머는 결속형 폴리머 또는 비결속형 폴리머로 식각될 수 있다. 이후, 희생층은 에천트를 통해 녹게되어, 재생 말초신경 인터페이스에 대한 제조가 완료될 수 있다.
- [0092] 재생 말초신경 인터페이스의 제조가 완료된 후, 재생 말초신경 인터페이스에는 금속 전극층이 전극 패키징될 수

있다. 재생 말초신경 인터페이스에 대한 전극 패키징을 위해, 이방성 도전 필름 접착(Anisotropic Conductive Film Bonding; ACF bonding)을 통해 금속 전극층과 연성회로기판의 회로 단자 사이를 전기적으로 연결할 수 있다. 그리고 생체적합 전선을 통해 연성회로기판과 헤드포트를 연결한 후, 자외선 에폭시(UV Epoxy)를 통하여 생체적합 전선의 노출부분을 모두 캡슐화하여 전하의 누수를 차단할 수 있다.

[0093] 상술한 바와 같이, 본 발명은 말초신경 및 근육조직에 이식 가능하고, 말초신경에 동시에 전극 접촉이 가능하며, 신호 리코딩을 위한 전극 부분을 형상기억폴리머를 이용한 다채널 신경 전극으로 대체하여, 신경신호와 RPNI 신호를 동시에 리코딩할 수 있고, 신경신호와 RPNI 신호의 상관관계에 대한 조사가 가능하고, 의지기반 신경보철의 구동이라는 관점에서, RPNI 신경신호 및 근육신호의 동시 리코딩은 단순한 근육신호 리코딩에 비해 2배의 입력 데이터가 존재하기 때문에 더 정확하고, 세밀한 신경보철 구동을 가능하게 할 수 있다는 등의 우수한 장점을 갖는다.

[0094] 이상 본 발명의 실시예들을 구체적인 실시 형태로서 설명하였으나, 이는 예시에 불과한 것으로서, 본 발명은 이에 한정되지 않는 것이며, 본 명세서에 개시된 기초 사상에 따르는 최광의 범위를 갖는 것으로 해석되어야 한다. 당업자는 개시된 실시형태들을 조합/치환하여 적시되지 않은 형상의 패턴을 실시할 수 있으나, 이 역시 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 것이다. 이외에도 당업자는 본 명세서에 기초하여 개시된 실시형태를 용이하게 변경 또는 변형할 수 있으며, 이러한 변경 또는 변형도 본 발명의 권리범위에 속함은 명백하다.

부호의 설명

[0095] 10 : 재생 말초신경 인터페이스

20 : 재생 말초신경 인터페이스의 제조방법

31 : 말초신경 32 : 근육조직

100 : 신경 전극 200 : 근육 전극

300 : 채널 전극 400 : 형상기억폴리머

400a : 제1 폴리머층 400b : 제2 폴리머층

410 : 결속형 폴리머 유닛 411 : 결박형 바디부

412 : 결속형 헤드부 413 : 결속형 커넥팅부

420 : 비결박형 폴리머 421 : 비결속형 바디부

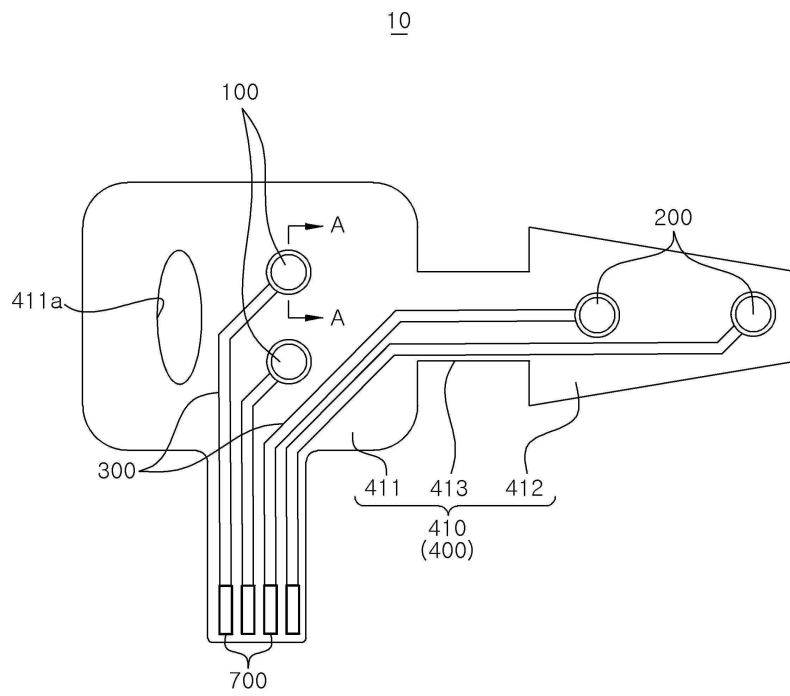
422 : 비결속형 헤드부 500 : 전도성 물질

601 : 접착층 602 : 희생층

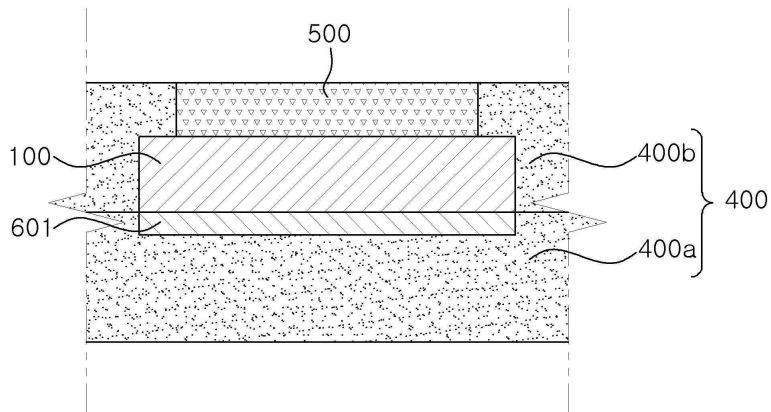
700 : 회로 단자

도면

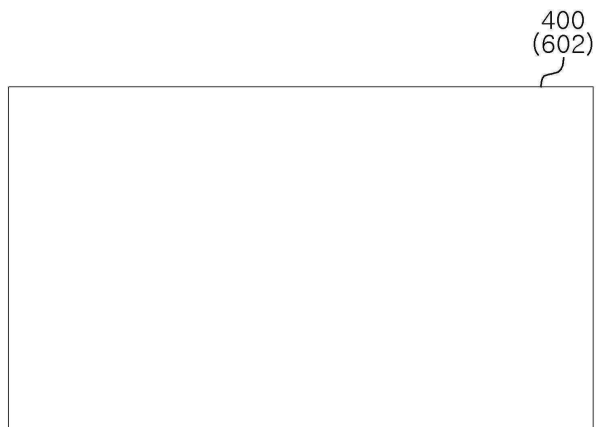
도면1



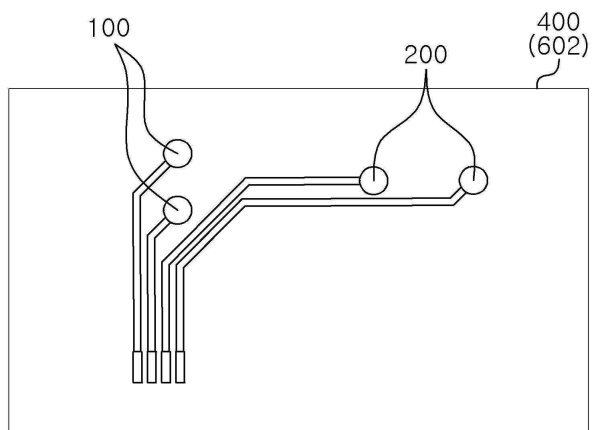
도면2



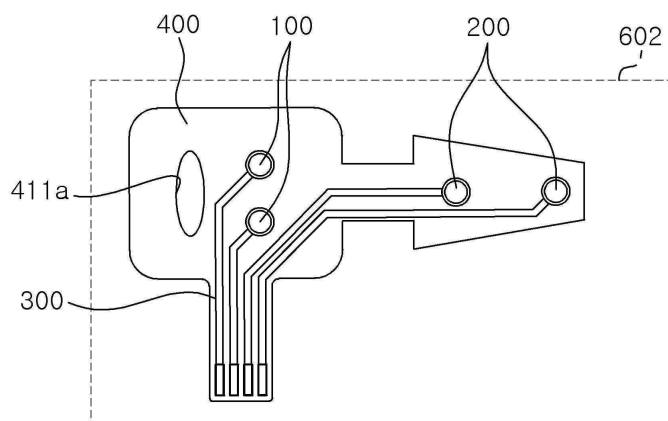
도면3



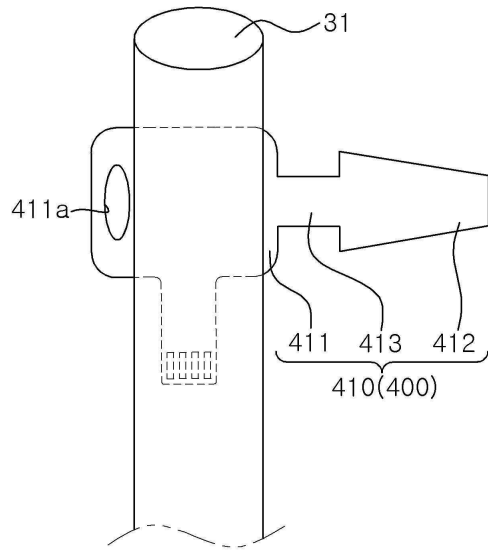
도면4



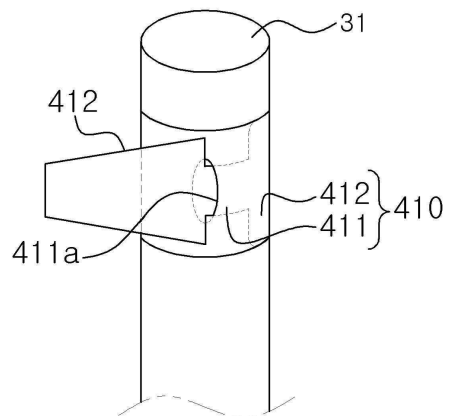
도면5



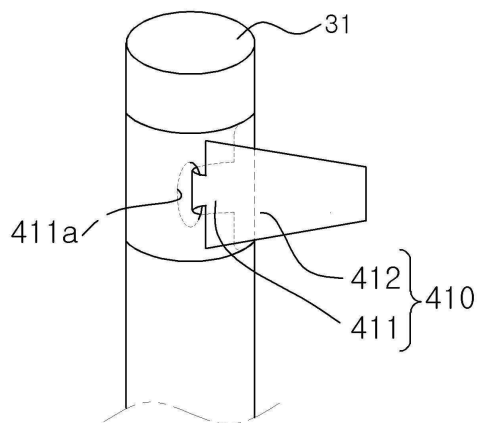
도면6



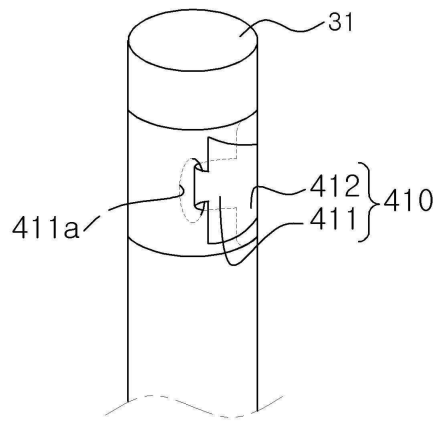
도면7



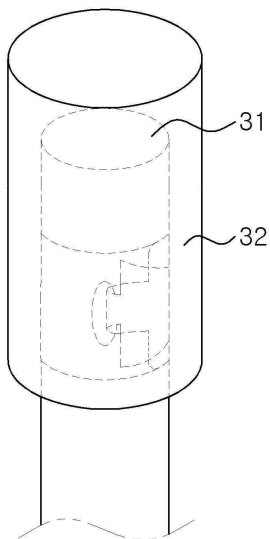
도면8



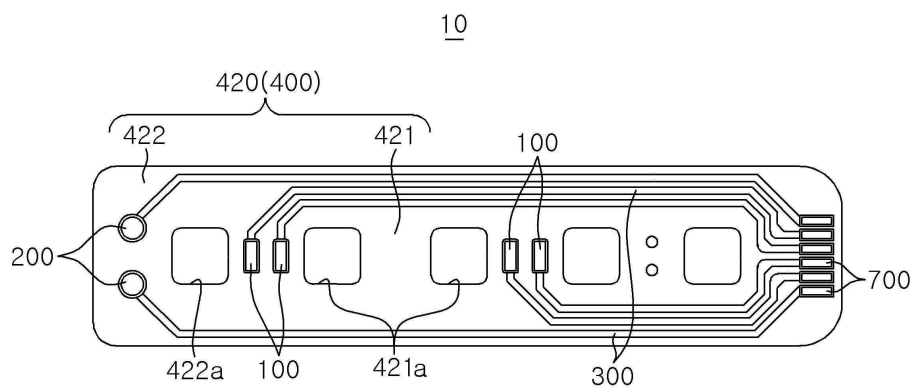
도면9



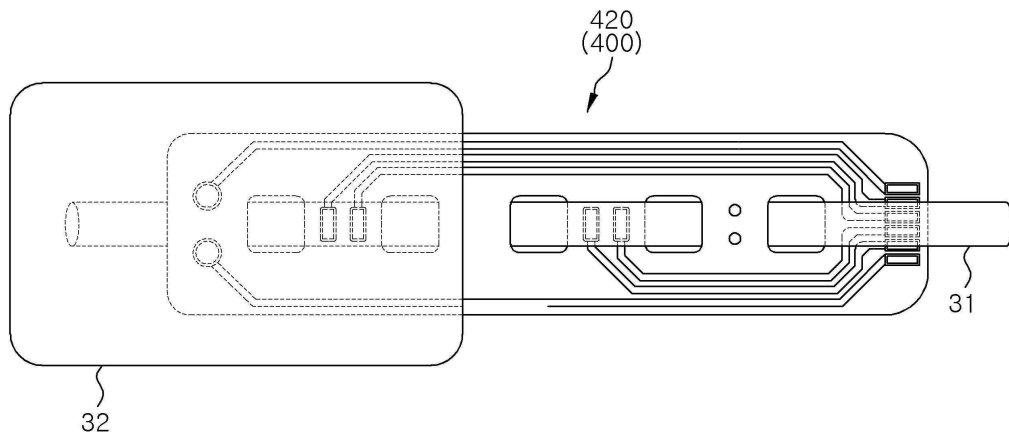
도면10



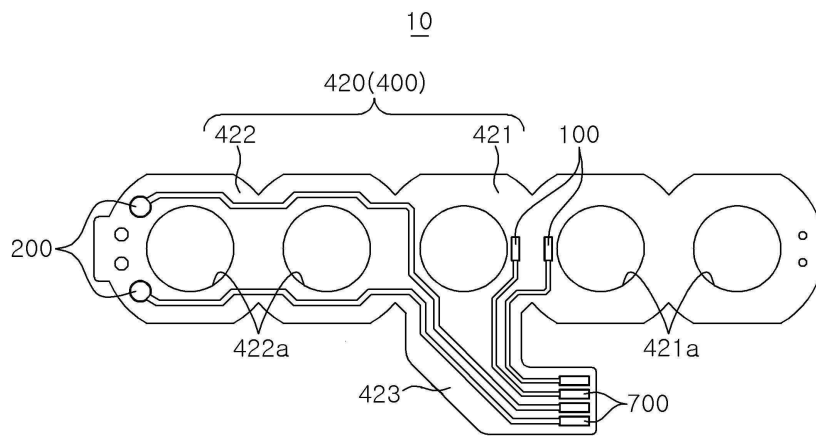
도면11



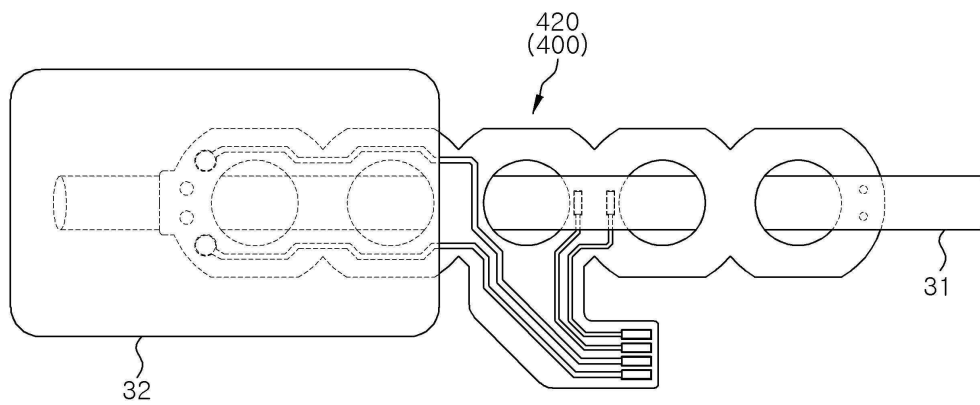
도면12



도면13



도면14



도면15

