



등록특허 10-2806288



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년05월13일

(11) 등록번호 10-2806288

(24) 등록일자 2025년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 27/327 (2006.01) G01N 27/22 (2006.01)

G01N 33/543 (2006.01) B82Y 15/00 (2017.01)

B82Y 40/00 (2017.01)

(52) CPC특허분류

G01N 27/3278 (2013.01)

G01N 27/221 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2024-7042833(분할)

(22) 출원일자(국제) 2017년03월30일

심사청구일자 2025년01월23일

(85) 번역문제출일자 2024년12월24일

(65) 공개번호 10-2025-0008962

(43) 공개일자 2025년01월16일

(62) 원출원 특허 10-2023-7016144

원출원일자(국제) 2017년03월30일

심사청구일자 2023년06월09일

(86) 국제출원번호 PCT/US2017/024949

(87) 국제공개번호 WO 2017/173042

국제공개일자 2017년10월05일

(30) 우선권주장

62/315,609 2016년03월30일 미국(US)

(56) 선행기술조사문현

KR1020140061358 A\*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 1 항

심사관 : 정아영

(54) 발명의 명칭 전기화학 감지, 정전용량 감지 및 전계 방출 감지를 위한 나노구조 어레이 기반의 센서들

## (57) 요 약

본 발명은 다양한 전기화학 분광법, 정전용량 및 전계 방출 기술을 이용하여 다중 분석물 전기화학 감지를 위한 나노 전극들로서 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조 어레이들을 이용하는 것에 관한 것이다. 특정 양태에서, 본 발명은 기관 상의 어레이의 적어도 두 개의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들의 디바이스들 및 배열들과 그 사용을 제공한다. 다른 특정의 양태에서, 본 발명은 상기 디바이스 및 칩 헌터를 포함하고, 하드웨어 및 소프트웨어를 더 포함하는 시스템들을 특징으로 한다.

## 대 표 도



(52) CPC특허분류

*G01N 27/226* (2013.01)  
*G01N 33/54373* (2013.01)  
*G01N 33/5438* (2013.01)  
*B82Y 15/00* (2013.01)  
*B82Y 40/00* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20070132043 A1\*  
US20060138394 A1  
JP2012247432 A\*  
JP2014523616 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

제 1 비전도성 기판(201) 상의 어레이의 적어도 두 개의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들(207)의 배열로서,

상기 기판 내에는 전기 전도성 부분들(208)이 있으며,

상기 전기 전도성 부분들은 상기 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 어레이로 형성하는 나노구조들(207)과 전기적 접촉을 형성하며,

상기 나노구조들(207)은 상기 제 1 비전도성 기판(201)의 제 1 면(202) 상의 전도성 경로들(403)과, 상기 제 1 기판(201)의 전도성 부분(208)을 통한 제 2 기판(209)의 전도성 구조들(210)과 개별적으로 접속되며,

상기 나노구조들(207)은 매개체(3000)로 덮여지며,

상기 매개체는 분석물을 포함하며,

전압(900)이 상기 적어도 두 개의 나노구조들(207) 사이에 인가되면, 전기장 또는 전자기장이 상기 나노구조들 사이에 생성되고, 정전용량(700)이 상기 나노구조들 사이에 형성되고,

전기장 또는 전자기장이 나노구조들 사이에서 하전된 물질(800)을 이동시키고,

나노구조들(207)은 나노튜브, 나노섬유, 나노 로드 및 나노 와이어로 구성되는 그룹으로부터 선택되고,

나노구조들(207)은 탄소 나노튜브, 탄소 나노섬유, 규소 나노 와이어, 산화 아연 나노 로드로부터 선택되고,

어레이의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들은, 다양한 전기화학 분광법, 정전용량 및 전계 방출 기술들을 이용하여, 다중 분석물 전기화학 감지를 위한 나노 전극들로서 이용되는, 적어도 두 개의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들의 배열.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 발명은 2016년 3월 30일자로 출원된 미국 가출원 번호 62/315,609에 대한 우선권을 주장하며, 그 전체 내용은 본원에 참고로 포함된다.

[0003] 본 발명은 전기화학 분광법, 정전용량 및 전계 방출 기술을 사용하여 분석물을 감지하기 위한 어레이 형식으로 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 구성하는 전기 디바이스에 관한 것이다. 상기 디바이스는 셀(cell)들을 조작하고, 모니터하고, 검출하는 데 사용될 수 있다. 상기 디바이스는 또한 높은 분해능의 전기화학 카메라로서 사용될 수 있다.

### 배경 기술

[0004] 전기화학 분광법(electrochemical spectroscopy)은 액체, 특히 용액에서 화학물질을 모니터하는 강력한 기술이다. 그것은 생물학적 감지에 자주 사용된다. 전압 전류법(voltammetry), 전류법(amperometry), 순환 전압 전류법, 고속 스캔 순환 전압 전류법, 전기화학 임피던스 분광법, 스트리핑 전압 전류법(stripping voltammetry) 등을 포함하는 다양한 기술들이 전기화학 분광법에 해당한다. 전극의 다양한 크기들, 형태들 및 재료들이 신호 대 잡음비를 향상시키기 위해 전기화학 측정에 활용된다. 높은 표면적을 갖는 더 작은 전극 크기들이 높은 감도를 가지므로 선호된다. 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들의 어레이가 민감하고 빠른 다중 분석물 전기화학 분광법을 수행하기 위한 전극들에 대한 완벽한 솔루션이다. 이러한 어레이는 WO2013001076에서 보고되어 있으며, 본원에서 그 전체가 참고로 인용된다. 그러한 나노구조들은 미세한 공간에 채워지며 다양한 감지 응용

분야들에서 더 높은 공간 및 감지 분해능을 제공한다. 상기 나노구조들은, 본원에서 그 전체가 참고로 인용된, 예를 들어 WO2013132352에 기술된 바와 같이 다른 화학물질과도 역시 기능화될 수 있다. 상기 디바이스들은 그 화학적 조성에 기초하여 물질들을 이미지화하기 위한 전기화학 카메라의 구현을 가능하게 하는 고유의 감지 체계로도 역시 사용될 수 있다.

[0005] 정전용량 감지(Capacitive sensing)는 고체, 액체 및 가스 내의 분석물(analytes)과 가스를 검출하기 위해 연구자에 의해 역시 이용될 수 있다. 커페시터 전극의 크기 및 기능화(functionalization)는 분석물 검출 방법의 감도 및 선택도를 각각 결정한다. 분석물이 커페시터 또는 수퍼 커페시터의 전극들 사이에 오게 되면, 시스템의 정전용량에서 변화가 있게 되어 측정될 수 있다. 이러한 것은 역시 분석물의 크기를 검출하는 강력한 기술이다. 따라서, 우리는 이러한 디바이스를 사용하여 정전용량 단층 촬영을 이용할 수 있다.

[0006] 더욱이, 가스와 가스 내의 불순물에 대한 전계 방출(field emission) 기반의 감지는 또한 이러한 나노구조들의 어레이를 사용하여 수행될 수 있다. 전압이 나노구조들로 구성된 두 개의 전극들 사이에 인가되면, 전계 방출(공기 또는 진공을 통해 한 전극에서 다른 전극으로 전자들이 이동)이 발생한다. 가스 분자 또는 불순물 또는 분석물이 상기 전극들 사이에 오게 되면, 가스 및 다른 물질의 이온화가 발생하여 전계 방출 전류의 변화를 일으킨다. 이러한 변화는 적절한 전자장치 및 소프트웨어를 사용하여 검출될 수 있다. 상기 전극들의 재료, 상기 전극들 사이의 거리 및 인가된 전압은 모두 이러한 방법의 감도에 기여하는 요인들이다.

[0007] 현재, 상기 전극들은 크며 또는 복합 나노물질 전극들은 표면에 결합되지 않는 방식으로 형성된다. 따라서, 이들은 전기화학 측정 중에 벗겨지는 경향이 있다. 더욱이, 정전용량 감지를 위한 고밀도로 패킹된 전극들을 형성하는 것은 어려운 일이며, 그 제조는 번거로울 수 있다. 전계 방출 디바이스들이 형성될 때, 유사한 문제가 발생한다. 이들이 너무 멀리 떨어져 있다면, 공기 중의 전계 방출 수행은 공기 중에서의 아크(arcing)로 인해 어렵게 된다. 그러나, 공기 분자들의 평균 자유 경로가 상기 전극들 사이의 거리에 필적할 정도로 상기 전극들이 충분히 가까워지면, 그러한 전계 방출 디바이스들은 실현될 수 있다. 따라서, 개선된 전계 방출 디바이스에 대한 기술이 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 다양한 전기화학 분광법, 정전용량 및 전계 방출 기술들을 이용하여 다중 분석물 전기화학 감지(multianalyte electrochemical sensing)를 위한 나노 전극들로서 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조 어레이들을 이용하는 신규하고 진보된 방법에 기초한다. 나노구조를 위한 재료는 우수한 전기적, 열적 및 기계적 특성을 갖는 탄소 나노튜브를 포함한다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 제 1 양태에서, 본 발명은 기판(201) 상의 어레이로 적어도 두 개의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들(207)의 배열을 제공하고, 상기 기판(201)은 비전도성이며, 상기 기판 내에는 전기 전도성 부분들(208)이 있으며, 상기 전기 전도성 부분들은 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 어레이로 형성하는 나노구조들(207)과 전기적 접촉을 형성하고, 상기 나노구조들(207)은 상기 비전도성 기판(201)의 제 1 면(202) 상의 전도성 경로들(403)과, 상기 제 1 기판 내의 전도성 부분(208)을 통한 제 2 기판(209)의 전도성 구조들(210)과 개별적으로 접속되며, 상기 나노구조들(207)은 매개체(medium)(3000)로 덮여지고, 전압(900)이 상기 적어도 두 개의 나노구조들(207) 사이에 인가되면, 전기장 또는 전자기장이 상기 나노구조들 사이에 생성되고, 정전용량(700)이 상기 나노구조들 사이에 형성된다.

[0010] 한 실시예에서, 상기 전기장은 상기 나노구조들 사이에서 하전된 물질(800)을 이동시킨다. 한 실시예에서, 각각의 나노구조(207)는 베이스 크기(2210)를 가지며, 여기서 상기 베이스 크기(2210)는 약 1 내지 1,000,000 nm 범위이다. 한 실시예에서, 높이(2220)는 약 10 내지 1,000,000 nm의 범위이다. 한 실시예에서, 나노구조들(207)은 하나 이상의 나노물질들을 포함한다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들(207)은 나노튜브, 나노섬유, 나노 로드(nano rods) 및 나노 와이어(nano wires)로 구성되는 그룹으로부터 선택된다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들(207)은 탄소 나노튜브, 탄소 나노섬유, 규소 나노 와이어, 산화 아연 나노 로드로부터 선택된다. 한 실시예에서, 거리(2213)는 1 내지 100 nm의 범위에 있는 각각의 나노물질 사이의 갭이다. 한 실시예에서, 상기 적어도 두 개의 나노구조들(207)은 거리(800)만큼 서로 분리되며, 상기 거리(800)는 1 내지 100,000 nm의 범위이다. 한 실시예에서, 상기 적어도 두 개의 나노구조들은 기판 내의 전기 부분에 의해 양전하 또는 음전하로 하전된다.

한 실시예에서, 각각의 나노물질은 1 내지 100 nm의 베이스 크기(2212) 및 1 내지 1,000,000 nm 범위의 높이(2211)를 갖는다. 한 실시예에서, 매개체(3000)는 고체 표면 또는 액체 또는 가스이다. 한 실시예에서, 상기 매개체는 정지(stationary)되거나 유동적(flow)이다. 한 실시예에서, 상기 매개체는 진공, 공기, 가스 혼합물, 폴리머, 세라믹, 규소(silicon), 반도체, 금속, 실리콘(silicone), 큐트(quarts), 운모(mica), 테플론(Teflon), 오일, 용액 및 액체 혼합물로 이루어진 그룹으로부터 선택된다. 한 실시예에서, 상기 매개체(3000)는 상기 나노구조의 높이보다 적어도 약 1 내지 500,000 nm 두껍다. 한 실시예에서, 상기 전압(900)은 나노구조들과 외부 전극 사이에 인가될 수 있다. 한 실시예에서, 상기 외부 전극의 재료는 금속, 복합 재료, 반도체, 전도성 폴리머 및 은/염화은으로 이루어진 그룹으로부터 선택될 수 있다. 한 실시예에서, 상기 나노구조 어레이는 일정한 전하 또는 전류로 하전될 수 있다. 한 실시예에서, 상기 나노구조 어레이는 교변하는 전하 또는 전류로 하전될 수 있다. 한 실시예에서, 정전용량(700)은 나노구조들 사이에 형성되고, 전기장의 방향은 인가된 전압(900)의 극성에 의존한다. 한 실시예에서, 상기 매개체는 상기 매개체(3000) 내에 분석물(600)을 더 포함한다. 다른 실시예에서, 상기 분석물(600)은 상기 매개체 내에 불순물을 포함한다. 한 실시예에서, 상기 분석물의 크기는 1 옹스트롬 내지 1 mm이고; 바람직하게는 1 nm 내지 1000 nm; 가장 바람직하게는 1 옹스트롬 내지 10 nm이다. 한 실시예에서, 상기 분석물은 이온, 셀, 나노 입자, DNA, RNA, 생체 분자, 폴리머, 세라믹, 금속, 가스, 박테리아, 바이러스, 증기 및 독소로 이루어진 그룹으로부터 선택된다. 한 실시예에서, 상기 분석물은 화학물질이다. 한 실시예에서, 상기 화학물질은 상기 매개체 내의 분석물에 의해 야기된 전기화학 변화 또는 임피던스 변화로 인해 전기화학 분광법을 사용하여 검출된다. 한 실시예에서, 상기 분석물은 상기 분석물에 의해 야기된 매개체 내의 유전 상수 변화로 인한 정전용량 변화를 이용하여 검출될 수 있는 화학물질이다. 한 실시예에서, 상기 분석물은 상기 분석물이 전계 방출에 의해 이온화됨으로써 매개체의 특성을 변화시킴에 따라 전계 방출 감지를 사용하여 검출될 수 있는 화학물질이다.

[0011] 다른 양태에서, 본 발명은 기판(201) 상의 어레이의 적어도 두 개의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들(207)을 포함하는 디바이스(300)를 특징으로 하며, 상기 기판(201)은 상기 기판 내에 전기 전도성 부분들(208)을 갖는 비전도성이며, 상기 전기 전도성 부분들은 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 어레이로 형성하는 나노구조들(207)과 전기적 접촉을 형성하고, 상기 나노구조들(207)은 상기 비전도성 기판(201)의 제 1 면(202) 상의 전도성 경로들(403)과, 상기 제 1 기판(201) 내의 상기 전도성 부분(208)을 통한 제 2 기판(209)의 전도성 구조들(210)과 개별적으로 접속되며, 상기 나노구조들(207)은 매개체(3000)로 덮여지고, 전압(900)이 적어도 두 개의 나노구조들(207) 사이에 인가되면, 전기장 또는 전자기장이 상기 나노구조들 사이에 생성되고, 정전용량(700)이 상기 나노구조들 사이에 형성된다.

[0012] 한 실시예에서, 상기 전기장은 상기 나노구조들 사이에서 하전된 물질(800)을 이동시킨다. 한 실시예에서, 상기 어레이 내의 적어도 하나의 나노구조들(207)이 제 1 전하로 하전될 수 있고, 상기 어레이 내의 적어도 제 2 나노구조들(207)이 제 2 전하로 하전될 수 있다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들의 제 1 세트와 제 2 세트 사이의 전기적 상호작용은 제 1 전기 신호를 생성할 것이고, 상기 매개체(3000) 내의 분석물(600)의 존재 또는 외부 섭동은 전기장을 변화시킨다. 한 실시예에서, 나노구조들의 제 1 세트와 제 2 세트 사이의 전기적 상호작용은 제 1 전기 신호를 생성할 것이고, 매개체(3000) 내의 분석물(600)의 존재 또는 외부 섭동은 정전용량(700)을 변화시킨다. 한 실시예에서, 나노구조들의 제 1 세트와 제 2 세트 사이의 전기적 상호작용은 제 1 전기 신호를 생성할 것이고, 상기 매개체(3000) 내의 분석물(600)의 존재 또는 외부 섭동은 상기 두 개의 나노구조들 사이의 하전된 물질의 흐름을 변화시켜 제 2 전기 신호를 생성할 수 있는 변화를 일으킨다. 다른 실시예에서, 상기 분석물(600)은 상기 매개체 내에 불순물을 포함한다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들로부터의 이러한 제 1 및 제 2 신호들은 상기 디바이스(300)에 접속된 외부 회로를 사용하여 전기화학 감지를 위한 광센서화된 센서 신호들로서 활용될 수 있다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들로부터의 이러한 제 1 및 제 2 신호들은 상기 디바이스(300)에 접속된 외부 회로를 사용하여 전계 방출 기반의 감지를 위한 광센서화된 센서 신호들로서 활용될 수 있다. 한 실시예에서, 본원의 양태들 또는 실시예들 중 어느 하나에 기재된 디바이스는 전기화학, 정전용량 및/또는 전계 방출 센서 어레이로서 사용하기 위한 것이다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들은 상기 매개체(3000) 내의 분석물(600)의 전기화학 검출을 위한 나노 전극 어레이로서 작용하며, 상기 배열은 정전용량 감지 디바이스로서 활용되고, 상기 나노구조들은 상기 매개체(3000) 내의 분석물(600)의 정전용량 감지를 위한 나노 전극 어레이로서 작용하며, 상기 배열은 전계 방출 기반의 감지 디바이스로서 활용되며, 상기 나노구조들은 상기 매개체(3000) 내의 분석물(600)의 전계 방출 기반의 감지를 위한 나노 전극 어레이로서 작용한다. 다른 실시예에서, 상기 분석물(600)은 매개체 내에 불순물을 포함한다. 한 실시예에서, 상기 나노구조들은 기능화된다(functionalized). 한 실시예에서, 상기

기능화는 공유 결합 기능화(covalent functionalization), 표면 흡착(surface adsorption), 전기 중합(electro-polymerization) 또는 전기화학 증착(electrochemical deposition)을 통해 수행된다. 한 실시예에서, 나노구조들의 기능화는 나노구조들 상의 하전을 향상시킨다. 한 실시예에서, 나노구조들의 기능화는 동시에 다중 분석물의 감지를 향상시킨다. 한 실시예에서, 기능화는 화학물질로 및/또는 공유 결합 기능화, 표면 흡착, 동시에 다중 분석물의 향상된 감지를 위한 전기화학 증착을 통해 이루어진다. 한 실시예에서, 절연 층 내의 상기 전도성 부분은 광전지(208)다. 한 실시예에서, 상기 전도성 부분(208)은 물질이 광에 노출될 때 전기를 생성한다. 한 실시예에서, 광에의 노출은 자력 디바이스(self-powering device)에 대한 전자기파로부터 전기로의 에너지 수확을 가능하게 한다.

[0013] 또 다른 실시예에서, 본 발명은 본원의 양태들 및 실시예들 중 어느 하나에 기술된 디바이스(300) 및 칩 홀더(chip holder)(4401)를 포함하는 시스템(4000)을 제공한다. 한 실시예에서, 상기 칩 홀더(4401)는 나노구조 어레이 디바이스(300)와의 적어도 하나의 전기적 접촉을 제공한다. 한 실시예에서, 상기 칩 홀더(4401)는 나노구조 어레이들(207) 주변에 매개체(3000)를 위한 미세유체(microfluidics)를 제공한다. 한 실시예에서, 상기 칩 홀더(4401)는 외부 하드웨어(4402)에 대한 전기 접속부를 제공한다. 한 실시예에서, 상기 외부 하드웨어(4402)는 데이터 수집부 및 신호 생성 하드웨어 전자장치를 포함한다. 한 실시예에서, 상기 하드웨어(4402)는 유선 또는 무선 접속을 사용하여 소프트웨어(4403)에 접속되고, 상기 소프트웨어(4403)는 상기 디바이스(300)로부터 생성된 데이터를 처리한다.

[0014] 또 다른 양태에서, 본 발명은 나노구조 어레이 감지 디바이스(300), 칩 홀더(4401), 하드웨어(4402) 및 소프트웨어(4403)를 포함하는 시스템(4000)을 특징으로 한다.

[0015] 한 실시예에서, 상기 시스템은 높은 검출 효율로 동시에 다중 분석물을 검출할 수 있고 감지를 향상시키기 위해 차동 감지, 높은 표면적 나노 전극 어레이, 전자장치 및 소프트웨어 알고리즘을 이용한다.

[0016] 또 다른 양태에서, 본 발명은 본원의 양태들 및 실시예들 중 어느 하나에 기재된 바와 같은 시스템을 사용하여 셀(cells)을 모니터, 검출 또는 조작하는 방법을 특징으로 한다. 한 실시예에서, 셀의 조작은 셀 포레이션(cell poration)을 포함하며, 전하가 상기 나노구조(207)를 사용하여 상기 셀 막(1401)으로 전달되고, 상기 전하는 상기 셀에 충격을 일으키고, 상기 셀 막은 전하를 전달하는 데 사용되는 나노구조(207)에서 위치 특이적으로(at site-specifically) 개방된다(1404). 한 실시예에서, 셀 내 및 셀 주위의 하나 이상의 화학물질들 및/또는 분석물들이 검출될 수 있고, 화학물질들 및 분석물들의 검출은, 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 기술들을 사용하여, 셀 내 분석물 측정, 셀 막에 걸친 전위 및 분석물의 측정, 셀들의 미세 환경에서의 분석물 측정을 포함한다. 한 실시예에서, 기능화된 나노구조들(5207)은 일렉트로포레이션(electroporation)을 사용하여 셀을 손상시키지 않으면서 셀 내부에 화학물질들을 전달하는 데 사용되며, 상기 나노구조의 작용기(functional group)는 셀 내부로 전달될 수 있다. 한 실시예에서, 셀 모니터링은 전기화학, 정전용량 또는 전계 방출 감지를 사용하여 이동, 화학물질 및 분석물 배출 및 유입에 대해 모니터링되는 셀을 포함하며, 상기 셀은 매개체(3000) 내의 분리된 단일 셀이거나, 상기 셀은 매개체 내의 셀 집단 내의 단일 셀이거나 또는 상기 셀은 다수의 다른 셀들과 상호작용한다. 한 실시예에서, 검출 셀은 화학물질 및 분석물의 검출을 포함하며, 상기 화학물질 및 분석물은 상기 매개체(3000) 내의 단일 셀의 미세 환경 내에 있고, 상기 단일 셀 막의 화학적 활성도는 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 사용하여 특별 분해능(special resolution)으로 검출될 수 있고, 상기 셀들은 체내에 있거나 또는 시험관 안에 있다.

[0017] 또 다른 실시예에서, 본 발명은 본원의 양태들 및 실시예들 중 임의의 것에 설명된 시스템을 사용하는 다중 분석물 검출 방법을 제공한다. 한 실시예에서, 다수의 분석물들이 동시에 검출될 수 있다. 한 실시예에서, 다수의 분석물들이 실시간으로 검출될 수 있다. 한 실시예에서, 검출은 전기화학 분광법, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지 중 하나 이상을 사용하여 수행된다. 한 실시예에서, 분석물의 크기가 결정된다. 한 실시예에서, 분석물의 농도가 검출된다. 한 실시예에서, 시스템은 원격 컴퓨팅 및 데이터 저장 위치를 더 포함한다. 한 실시예에서, 시스템은 또한 데이터 분석을 수행한다. 한 실시예에서, 다수의 시스템들로부터의 데이터 분석이 동시에 분석될 수 있다.

[0018] 다른 실시예에서, 데이터 수집부는 데이터 수집/접속 포트, 증폭기/아날로그 회로, ADC, 마이크로 컨트롤러 및 통신 포털을 포함한다. 신호 생성을 위한 하드웨어는 입력 설정 변수들, 마이크로컨트롤러들, 디지털 전위차계, 증폭기들/아날로그 회로/버퍼들 및 출력 포트/접속기를 포함한다. 다른 실시예에서, 데이터 처리 소프트웨어는 본원에 설명된 바와 같은 디바이스로부터 생성된 데이터를 처리할 수 있고, 다음의 단계들, 원시 데이터 조작의 처리들, 원시 데이터의 그래픽 표현을 가능하게 하고, 기계 학습 알고리즘을 이용하고, 데이터베이스 내의 데이

터 또는 시간에 걸쳐 학습된 데이터와 새로운 데이터를 비교할 수 있고, 상기 데이터의 분석 출력을 생성하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.

[0019] 한 실시예에서, 본원의 양태들 및 실시예들 중 임의의 것에 설명된 디바이스는 전기화학 분광법, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지 방법들의 사용을 통하여 액체, 가스 또는 표면, 막 내의 분석물들의 화학적 조성들의 이미지화를 위한 전기화학 카메라로서 사용될 수 있다. 한 실시예에서, 본원의 양태들 및 실시예들 중 임의의 것에 기술된 바와 같은 디바이스 및/또는 시스템은 원격 컴퓨팅 위치(클라우드)와 접속할 수 있고, 다수의 시스템(들) 및 디바이스들로부터의 데이터는 동시에 분석될 수 있어 다수의 시스템들로부터의 데이터의 비교를 가능하게 하고, 생태계의 스냅 샷(snapshot)을 생성한다.

### 도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 출원의 실시예들에 따른 나노구조들을 포함하고 WO2013001076에 기술된 바와 같은 나노구조들을 포함하는 디바이스를 제조하는 방법을 개략적으로 설명하는 흐름도이다.

도 2a 내지 도 2d는 상기 디바이스의 확대 단면도를 도시하며, 각각의 도면은 도 1의 방법에 따른 제조 처리의 단계에 대응한다.

도 3은 본 발명에 따른 디바이스의 실시예의 사시도를 도시한다.

도 4a 내지 도 4c는 본 발명에 따른 디바이스의 예시적인 실시예들의 측단면도를 도시한다

도 5는 도 4c를 도시한다.

도 6은 본원의 실시예에서 설명된 바와 같은 시스템(4000)을 형성하는 칩 홀더(4401), 하드웨어(4402) 및 소프트웨어(4403)에 대한 흐름도를 도시한다.

도 7은 상이한 각각의 전하들을 갖는 두 개의 인접한 나노구조들의 상세도를 도시한다.

도 8은 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조 어레이와 각 나노구조가 어떻게 작용기에 의해 기능화되는지를 도시한다.

도 9는 나노구조 어레이 기반 디바이스의 단면도 및 평면도를 도시하며, 나노구조들은 불순물들(800)을 갖는 매개체(300)로 덮여있고 개별적인 나노구조들이 상이한 각각의 전하들로 하전된다.

도 10은 하드웨어(4402)에 접속된 칩 홀더(4401) 내의 나노구조 어레이 디바이스(3000)를 갖는 시스템을 도시하며, 상기 하드웨어는 컴퓨터 또는 모바일 디바이스 상의 소프트웨어(4403)에 접속된다.

도 11은 예로서 디바이스(4000)의 실제 구현을 도시한다.

도 12는 전기화학 카메라로서의 디바이스(4000)를 도시한다.

도 13은 분석물(600) 및 하전된 물질(800)을 갖는 매개체(300) 내의 다양한 그룹들로 기능화된 하전된 나노구조 어레이를 도시한다.

도 14는 매개체 내의 나노구조 어레이 상의 셀을 도시하며, 상기 셀은 조작되고, 모니터링되고, 분석물 및 셀이 검출된다.

도 15의 a 내지 o는 다양한 모양들과 크기들의 탄소 나노튜브들(CNTs)로 구성된 나노구조들의 주사 전자(SEM) 현미경 사진들을 도시한다.

도 16은 산화 아연 나노-로드로 기능화된 CNT 나노구조들의 SEM 현미경 사진을 도시한다.

도 17은 나노구조들의 어레이를 도시하며, 그 대향 전압이 나노구조들 사이에 전계 방출(701)을 일으키는 인접한 나노구조들 사이에 인가된다.

도 18은 실험에서 두 개의 나노구조들 사이의 전계 방출을 사용하여 호흡을 검출하는 그래프를 도시한다

도 19는 또 다른 실험에서 두 개의 나노구조들 사이의 전계 방출을 사용하여 호흡을 검출하는 그래프를 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 발명은 다양한 전기화학 분광법, 정전용량 및 전계 방출 기술들을 이용하여 다중 분석물(multianalyte) 전기화학 감지를 위한 나노 전극들로서 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조 어레이들을 이용하는 신규하고 진보된 방법들에 기초한다.
- [0022] 본원에서 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명과 관련하여 사용되는 과학적 및 기술적 용어들은 당업자가 일반적으로 이해하는 의미들을 가질 것이다. 용어들의 의미와 범위는 명확해야하지만, 잠재적인 모호성이 있는 경우, 본원에서 제공된 정의가 임의의 사전이나 외부적인 정의보다 우선한다. 또한, 문맥에 의해 달리 요구되지 않는 한, 단수의 용어들은 복수를 포함하고, 복수의 용어들은 단수를 포함해야한다. 본 출원에서, "또는"은 다른 언급이 없는 한 "및/또는"을 의미한다. 또한, "포함하는"과 "포함한다" 및 "포함된"과 같은 다른 형태의 사용은 제한적인 것은 아니다. 또한, "요소" 또는 "구성요소"와 같은 용어는, 특히 달리 언급되지 않는 한, 하나의 유닛을 포함하는 요소들 및 구성요소들과 하나의 서브유닛보다 많은 것을 포함하는 요소들 및 구성요소들을 망라한다.
- [0023] 본원 상세한 설명 및 청구범위에서 사용되는 바와 같은 부정관사 "하나의("a" 및 "an")"는 반대되는 것으로 명확히 표시되지 않는 한, "적어도 하나"를 의미하는 것으로 이해되어야한다.
- [0024] 범위는 각각의 개별적인 구성(member)을 포함한다. 따라서, 예를 들어, 100 nm의 범위는 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99 또는 100 nm이다.
- [0025] 반대되는 것으로 명확하게 지시되지 않는 한, 하나의 단계 또는 동작보다 많은 것을 포함하는 본원에 청구된 임의의 방법들에서, 상기 방법의 단계들 또는 동작들의 순서는 상기 방법의 단계들 또는 동작들이 열거된 순서에 반드시 한정되는 것은 아니라는 것을 이해해야한다.
- [0026] 예시적인 실시예들은 이상적인 실시예들의 도식적인 설명들인 도면들을 참조하여 본원에 설명된다. 이와 같은 것으로서, 예를 들어 제조 기술 및/또는 허용 오차와 같은 결과로서 도면들의 형태들로부터의 변형이 예상될 수 있다.
- [0027] 본 발명은 전도성 부분들(208)을 갖는 제 1 비전도성 기판(201) 상에 어레이로 배열된 나노구조들(207)을 포함하는 신규하고 진보적인 디바이스(300)를 특징으로 하며, 상기 나노구조들(207)은 전도성 경로들(403)과, 상기 제 1 기판(201)의 전도성 부분(208)을 통한 제 2 기판(209)의 전도성 구조들(210)과 개별적으로 접속하며, 상기 디바이스(300)는 전기화학 센서 어레이로서 이용되고, 상기 나노구조들은 매개체 내 분석물들의 전기화학 검출을 위한 나노 전극 배열로서 작용하며; 상기 디바이스(300)는 정전용량 감지 디바이스로서 이용되고, 상기 나노구조들은 매개체 내 분석물들의 정전용량 감지를 위한 나노 전극 어레이로서 작용하며; 상기 디바이스(300)는 전계 방출 기반의 감지 디바이스로서 이용되고, 상기 나노구조들은 매개체 내 분석물들의 전계 방출 기반의 감지를 위한 나노 전극 어레이로서 작용한다.
- [0028] 본 발명은 또한 상기 디바이스(300), 나노구조 어레이 디바이스(300)와의 적어도 전기적 접촉들, 나노구조 어레이들 주변의 가스 또는 액체에 대한 미세유체들, 및 하드웨어(4402)에 대한 외부의 전기적 접속들을 위한 접속부를 제공하는 칩 홀더(4401) 디바이스를 포함하는 시스템으로서, 상기 하드웨어는 데이터 수집부 및 신호 생성 하드웨어를 포함하고, 데이터 수집부는 데이터 수집부, 접속 포트, 증폭기, 아날로그 회로, ADC, 마이크로컨트롤러 및 통신 포털을 포함하며, 신호 생성을 위한 하드웨어는 입력 설정 변수들, 마이크로컨트롤러들, 디지털 전위차계, 증폭기들, 아날로그 회로, 버퍼들 및 출력 포트 및 접속기들을 포함하는, 상기 시스템을 특징으로 한다.
- [0029] 한 실시예에서, 데이터 처리 소프트웨어(4403)는 디바이스(300)로부터 생성된 데이터를 처리할 수 있고, 다음의 단계들, 원시 데이터 조작의 처리들, 원시 데이터의 그래픽 표현을 가능하게 하고, 기계 학습 알고리즘을 활용하고, 데이터베이스 내의 데이터 또는 시간에 걸쳐 학습된 데이터와 새로운 데이터를 비교할 수 있고, 상기 데이터의 분석 출력을 생성하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0030] 본원에 기술된 바와 같이, 나노구조 어레이 감지 디바이스, 칩 홀더 디바이스, 데이터 처리를 위한 하드웨어 및 소프트웨어를 포함하는 시스템(4000)은 예를 들어 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 감지 응용들에 이용된다.
- [0031] 상기 디바이스는, 높은 표면적, 작은 전극 크기 및 전극들 사이의 작은 갭으로 인해 하전될 때 이들이 수퍼 커

패시터로서 작용함에 따라, 정전용량 감지를 위해 사용될 수 있다.

[0032] 상기 디바이스는 또한 탄소 나노튜브, 규소 카바이드 나노와이어(silicon carbide nanowires) 등과 같은 물질로 구성된 나노구조들의 우수한 전계 방출 특성에 따라 기판 상에 배열된 나노구조들의 근접성으로 인해 전계 방출 기반의 감지 디바이스로 사용될 수 있다.

[0033] 상기 디바이스는 나노구조 어레이들과 고체, 액체 또는 가스의 노출 및 상호작용을 가능하게 하는 미세유체와 함께 나노구조 어레이들에 전기적 접속을 제공할 수 있는 칩 홀더와 통합된 개별적으로 어드레스 가능한 전극들의 나노구조 기반 어레이들을 가질 수 있다. 상기 칩 홀더는 또한 신호를 생성하고 나노구조 어레이로부터 데이터를 수집하고 하드웨어 또는 무선을 통해 소프트웨어로 이를 전송할 수 있는 다중 채널 전위차계와 같은 하드웨어를 통합한다. 상기 디바이스는 또한 데이터를 수신하고 실시간으로 상기 데이터를 그래프로 표시하거나 데이터를 분석하고 보고를 제공할 수 있는 소프트웨어로 포함한다. 이 소프트웨어는 기계 학습 및 인공 지능 알고리즘을 통해 나노구조 어레이로부터의 데이터를 정확하게 분석할 수 있다.

[0034] 상기 디바이스는 고체 표면 상에서, 액체 용액 내에서 또는 가스 내에서 화학물질에 대한 다중 분석물 검출 시 스텝으로서 사용될 수 있다. 이 디바이스는 문자, 이온, DNA, RNA, 단백질, 나노입자, 셀, 하위 셀 기관(sub cellular organelles), 유기 화합물, 독소(toxins) 및 무기 화합물을 검출하는 데 사용될 수 있다. 이 디바이스는 또한 나노입자를 검출하고 나노입자의 크기를 구별하는 데 사용될 수 있다. 나노구조들은 상이한 기능성 물질에 의해 기능화되어 특이성을 갖는 다수의 분석물 검출을 가능하게 한다. 이 디바이스는 분리된 단일 셀, 셀 집단 내의 단일 셀, 셀들의 상호작용, 단일 셀의 미세 환경을 모니터링하는 데 사용될 수 있으며, 생체 내 및 시험 관내의 단일 셀 막의 화학적 활성도(chemical activity)의 특별 분해능을 제공할 수 있다.

[0035] 나노구조들의 개별적인 어드레스 지정 능력은 다양한 신호들을 다양한 나노구조들에 보낼 수 있도록 하여, 화학물질, 가스, 및 생체분자 등과 같은 분석물들의 검출과 동시에 다수의 전기화학 검출 기술들이 이용될 수 있게 한다. 유사하게, 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들에 상이한 신호들을 인가하는 것은 정전용량 감지 방법 및 전계 방출 감지 기술을 사용하여 다중 분석물 검출을 가능하게 한다. 나노구조들에 다양한 기능화와 결합하여, 상기 디바이스 사용 및 응용의 다양한 치환 및 변형이 실현된다.

[0036] 상기 디바이스는 분석물의 크기, 분석물들의 수 및 농도, 분석물의 위치 및 분석물의 물질을 포함하는 특정의 분해능으로 표면들 및 분석물들의 화학적 조성들을 이미지화하기 위한 전기화학 카메라로서 사용될 수 있다.

[0037] 상기 디바이스는 또한 분석물의 크기, 분석물들의 수 및 농도, 분석물의 위치 및 분석물의 물질을 포함하는 분석물들의 화학적 조성 및 크기 분포에 대한 정전용량 감지 방법을 사용하는 화학 카메라로서 사용될 수 있다.

[0038] 상기 디바이스는 전계 방출 감지 기술을 사용하여 가스 혼합물의 화학적 조성, 휘발성 물질, 폭발물, 물질의 특성 및 불순물 등과 그들의 농도를 감지하기 위한 카메라 또는 인공 코(artificial nose)로서 사용될 수 있다.

[0039] 따라서, 본 발명은 놀라우며 예기치 않은 용도들을 갖는 배열들 및 디바이스들을 기술한다. 이 문서에 설명된 배열 및 디바이스는 당 기술 분야에서는 가능하지 않았던 높은 화학적 및 공간적 분해능에서 감지를 수행하기 위해 탄소 나노튜브와 같은 나노물질의 사용을 허용하므로 혁신적인 것이다.

[0040] 칩 홀더의 조합으로 나노구조 디바이스(300)를 이용하는 것은 미세유체에 따라 상기 디바이스에 전기적 접촉을 제공하는 것이므로 독창적인 것이며, 이는 나노 스케일에서 도전적인 것으로 입증된 것이다. 더욱이, 그러한 작은 규모에서의 측정을 위한 노이즈 레벨은 극복하기 어렵다는 것이 입증되었다. 따라서, 이에 제한되는 것은 아니지만, 증발을 방지하기 위한 시스템 밀봉, 온도 모니터링, 열 안정성, 민감한 고급 전자장치 및 데이터 분석을 수행하는 고급 소프트웨어를 포함하는 시스템 노이즈를 줄이기 위한 고유한 방법이 요구된다. 나노구조들은 거대한 표면적을 가지며 서로 가깝게 배열되어 있기 때문에, 동일한 전압이 인접한 전극들에 인가되면 이들은 어레이 대신에 하나의 디바이스로 작동할 수 있다. 더욱이, 증가된 표면적 및 우수한 전기적 특성과 같이 이들을 매우 민감하게 하는 특성들은 또한 이들을 꾹꾹 노이즈에 매우 민감하게 만들 수 있다. 따라서, 상이한 나노구조들에 상이한 전위들을 적용하기 위해 특별한 전자장치들이 요구되며, 다수의 센서들로부터의 데이터를 동시에 분석하기 위해 강력한 소프트웨어가 요구된다. 어레이 내에 수십, 수백, 수천개의 나노구조들이 존재할 수 있으며, 이 디바이스를 모두로부터의 데이터를 동시에 분석하기 위해 매우 강력한 분석 소프트웨어가 요구된다. 따라서, 감지 응용에 대해 나노구조 어레이 디바이스를 이용하기 위해, 매우 특별한 칩 홀더뿐만 아니라 유용한 측정을 위한 하드웨어 및 소프트웨어가 요구된다. 종래 기술은 본 발명에 의해 제공되는 배열, 디바이스 및 그 사용을 제공하지 못했다. 실제로, 본 발명은 다중 분석물 감지에 대해 나노구조 디바이스를 이용하기 위해 최적의 파라미터들로 적절한 설정에 도달한 수년간의 실험의 소산물이다. 또한, 종래 기술에서는 신호들에 영향을

줄 수 있는 노이즈 문제 및 물리적 변화(예를 들면, 온도 및 복사)를 예측하지 못했고 해결하지 못했다. 본 발명은 시스템이 최적으로 수행되도록 이러한 문제들을 완화하기 위한 광범위한 실험 및 특별한 정밀함을 기술한다.

[0041] 한 양태에서, 본 발명은 기판(201) 상의 어레이에서 적어도 두 개, 적어도 3개, 적어도 4개, 적어도 5개, 적어도 6개, 적어도 7개, 적어도 8개, 적어도 9개, 적어도 10개, 적어도 11개, 적어도 12개, 적어도 13개, 적어도 14개, 적어도 15개, 적어도 16개, 적어도 17개, 적어도 18개, 적어도 19개, 적어도 20개, 적어도 21개, 적어도 22개, 적어도 23개, 적어도 24개, 적어도 25개, 적어도 26개, 적어도 27개, 적어도 28개, 적어도 29개, 적어도 30개, 적어도 31개, 적어도 32개, 적어도 33개, 적어도 34개, 적어도 35개, 적어도 36개, 적어도 37개, 적어도 38개, 적어도 39개, 적어도 40개, 적어도 41개, 적어도 42개, 적어도 43개, 적어도 44개, 적어도 45개, 적어도 46개, 적어도 47개, 적어도 48개, 적어도 49개, 적어도 50개, 적어도 60개, 적어도 70개, 적어도 80개, 적어도 90개, 적어도 100개, 적어도 200개, 적어도 300개, 적어도 400개, 적어도 500개, 적어도 1000개, 적어도 100,000개, 적어도 1000,000개, 적어도 1000,000,000개, 또는 그 이상의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들(207)의 배열을 기술한다. 바람직하게, 기판(201)은 비전도성이며, 기판 내에 전기 전도성 부분들(208)이 있다. 바람직하게, 상기 전기 전도성 부분들은 어레이에서 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 형성하는 나노구조들(207)과 전기적 접촉을 형성한다. 바람직하게, 상기 나노구조들(207)은 비전도성 기판(201)의 제 1면(202) 상의 전도성 경로들(403)과, 상기 제 1 기판(201)의 전도성 부분(208)을 통한 제 2 기판(209)의 전도성 구조들(210)과 개별적으로 접속된다. 바람직하게, 상기 나노구조들(207)은 매개체(3000)로 덮여지며, 적어도 두 개의 나노구조들(207) 사이에 전압(900)이 인가되면, 상기 나노구조들 사이에 전기장 또는 전자기장이 생성되고 상기 나노구조들 사이에 정전용량(700)이 형성된다.

[0042] 한 양태에서, 본 발명은 전도성 부분들(208)을 갖는 제 1 비전도성 기판(201) 상에 어레이로 배열된 나노구조들(207)을 포함하는 디바이스(300)를 기술하며, 상기 나노구조들(207)은 전도성 경로들(403)과, 상기 제 1 기판(201)의 전도성 부분(208)을 통한 제 2 기판(209)의 전도성 구조들(210)과 개별적으로 접속되고, 상기 디바이스(300)는 전기화학 센서 어레이로서 이용되고, 상기 나노구조들은 액체 내의 분석물들의 전기화학 검출을 위한 나노 전극 어레이로서 작용하며, 상기 디바이스(300)는 정전용량 감지 디바이스로서 이용되고, 상기 나노구조들은 가스 또는 액체 내의 분석물들의 정전용량 감지를 위한 나노 전극 어레이로서 작용하며, 상기 디바이스(300)는 전계 방출 기반의 감지 디바이스로서 이용되고, 상기 나노구조들은 가스 내의 분석물들의 전계 방출 기반의 감지를 위한 나노 전극 어레이로서 작용한다.

[0043] 또 다른 양태에서, 본 발명은 또한 적어도 나노구조 어레이 디바이스(300)와의 전기적 접촉들과, 나노구조 어레이를 주변의 가스 또는 액체에 대한 미세유체들과, 데이터 수집부 및 신호 생성 하드웨어를 포함하는 하드웨어에 대한 외부의 전기적 접속들을 위한 접속부를 제공하는 칩 홀더 디바이스를 기술하며, 여기서 데이터 수집부는 데이터 수집/접속 포트, 증폭기/아날로그 회로, ADC, 마이크로컨트롤러 및 통신 포털을 포함하며, 신호 생성을 위한 하드웨어는 입력 설정 변수들, 마이크로컨트롤러들, 디지털 전위차계, 증폭기들/아날로그 회로/버퍼들 및 출력 포트/접속기를 포함한다.

[0044] 또한, 본 발명에 포함되는 것은, 상기 기술된 디바이스(300)로부터 생성된 데이터를 처리할 수 있는 데이터 처리 소프트웨어로서, 다음의 단계들, 원시 데이터 조작의 처리들, 원시 데이터의 그래픽 표현을 가능하게 하고, 기계 학습 알고리즘을 이용하고, 데이터베이스 내의 데이터 또는 시간에 걸쳐 학습된 데이터와 새로운 데이터를 비교할 수 있고, 상기 데이터의 분석 출력을 생성하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.

[0045] 나노구조 어레이 감지 디바이스, 칩 홀더 디바이스 및 상기 설명에 따른 데이터 처리를 위한 소프트웨어를 포함하는 시스템은 감지 응용에 이용된다.

[0046] 상기 설명된 시스템은 전기화학 분광법, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지 방법들을 사용하는 처리들을 통해 분석물들의 화학물질 종류의 검출을 가능하게 함으로써 화학물질을 감지하는 것과 함께; 1 mm 내지 1 옹스트롬; 바람직하게는 100 nm 내지 1 nm; 가장 바람직하게는 1 nm 내지 1 옹스트롬의 분석물들에서 크기 검출을 감안하여 크기를 감지할 수 있다.

[0047] 상기 설명된 시스템은 전기화학 분광 검출, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지 방법을 사용하여 혼합물 내의 분석물들의 농도를 감지할 수 있다.

[0048] 상기 설명된 시스템은 검출 효율을 높이면서 동시에 다중 분석물을 검출할 수 있고 차동 감지(differential sensing), 높은 표면적 나노 전극 어레이들, 전자장치들 및 소프트웨어 알고리즘들을 사용하여 감지 기능을 향

상시킨다.

- [0049] 상기 설명된 시스템은 셀 포레이션(cell poration); 셀 내 측정, 셀 막에 걸친 측정, 셀들의 미세 환경을 수행할 수 있고, 셀을 손상시키지 않으면서 셀 내부의 화학물질들을 전달할 수 있다.
- [0050] 상기 설명된 디바이스는 공유 결합 기능화, 표면 흡착, 전기화학 증착을 통해 화학물질들로 기능화된 나노구조들을 포함하여 동시에 다중 분석물 감지가 향상된다.
- [0051] 상기 설명된 디바이스는 전기화학 분광법, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지 방법을 사용하여 액체, 가스 또는 표면, 막의 분석물들의 화학적 조성을 이미지화하기 위한 전기화학 카메라로 사용될 수 있다.
- [0052] 본 발명에 기술된 디바이스 및 시스템에서, 다중 분석물 검출은 전기화학 분광법, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지 방법을 사용하는 것 중 하나 또는 조합을 사용하여 실시간으로 수행된다.
- [0053] 상기 디바이스는 분리된 단일 셀, 셀 집단 내의 단일 셀, 셀들의 상호작용, 단일 셀의 미세 환경을 모니터하는 데 사용될 수 있으며, 생체 내 및 시험관 내의 단일 셀 막의 화학적 활성도에 대한 특별 분해능을 제공할 수 있다.
- [0054] 상기한 본 발명 모두에서 기술된 시스템은 클라우드(원격 컴퓨팅 및 데이터 저장장치) 위치들과 접속할 수 있고 데이터 분석을 수행할 수 있다.
- [0055] 상기한 본 발명 모두에서 기술된 디바이스 및 시스템은 원격 컴퓨팅 위치(클라우드)와 접속할 수 있으며, 다수의 시스템들 및 디바이스들로부터의 데이터는 동시에 분석될 수 있어, 다수의 시스템들로부터의 데이터의 비교를 가능하게 하고 생태계의 스냅샷을 생성할 수 있다.
- [0056] 본 발명의 하나에서의 디바이스에서 절연 층 내의 상기 전도성 부분은 광전지(208)이고; 이는 물질이 광에 노출될 때 전기를 생성하여 자력 디바이스(self-powering device)에 대한 전자기파로부터 전기로의 에너지 수확을 가능하게 한다.
- [0057] 한 실시예에서, 전술한 선행 기술 및 다른 선행 기술의 견지에서, 본 발명은 다양한 전기화학 분광 기술들을 이용하여 다중 분석물 전기화학 감지를 위한 나노 전극들로서 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조 어레이들을 이용하는 방법을 제공한다. 나노구조들에 대한 재료는 우수한 전기적, 열적 및 기계적 특성들을 갖는 탄소 나노튜브들을 포함한다.
- [0058] 한 실시예에서, 상기 디바이스들은 높은 표면적, 작은 전극 크기 및 전극들 사이의 작은 갭으로 인해 하전될 때 수퍼 커패시터들로서 작용하므로 정전용량 감지에 사용될 수 있다.
- [0059] 한 실시예에서, 상기 디바이스들은 또한 탄소 나노튜브, 실리콘 카바이드 나노와이어 등과 같은 물질로 구성된 나노구조들의 양호한 전계 방출 특성에 따른 전계 방출 기반의 감지 디바이스로 사용될 수 있다.
- [0060] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 나노구조 어레이들과의 고체, 액체 또는 가스의 노출 및 상호작용을 가능하게 하는 마이크로유체와 함께 나노구조 어레이들에 전기적 접속을 제공할 수 있는 칩 홀더와 통합된 개별적으로 어드레스 가능한 전극들의 나노구조 기반 어레이들을 가질 수 있다.
- [0061] 한 실시예에서, 칩 홀더는 또한 신호들을 생성하고 나노구조 어레이로부터 데이터를 수집하여 이를 하드와이어 또는 무선을 통해 소프트웨어로 전송할 수 있는 다중 채널 전위차계로서 작용할 수 있는 하드웨어를 통합한다.
- [0062] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 또한 데이터를 수신하고 실시간으로 상기 데이터를 그래프화하거나 또는 상기 데이터를 분석하여 보고를 제공할 수 있는 소프트웨어를 포함한다.
- [0063] 한 실시예에서, 상기 소프트웨어는 나노구조 어레이로부터의 데이터의 정확한 분석을 제공하기 위한 기계 학습 및 인공 지능 알고리즘들을 수행할 수 있다.
- [0064] 한 실시예에서, 나노구조 어레이는 일정한 전하로 하전되고 전하들을 변화시킨다. 이러한 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들의 어레이는 정전용량 감지를 위한 픽셀화된 센서로서 이용될 수 있다.
- [0065] 한 실시예에서, 각각의 나노구조는  $500 \text{ nm}^2$  베이스 크기이고, 제한되는 것은 아니지만, 탄소 나노튜브, 나노섬유, 나노 로드로부터 선택되는 나노물질로 이루어진다. 각 나노물질 요소 사이의 거리(나노튜브들의 경우, 나노구조의 각 나노튜브)는  $5 \text{ nm}$ 이다. 두 나노구조들은 서로  $500 \text{ nm}$  떨어져 있다. 상기 나노구조들은 "+ 전하"로 하전된다.

- [0066] 한 실시예에서, 매개체(3000) 내의 외부 전극과 나노물질들 사이에 전압이 인가된다. 나노구조로 구성되지 않은 상부 전극에 적합한 물질은, 이에 한정되지는 않지만, ITO(인듐 주석 산화물), ATO(안티몬 주석 산화물), 산화 주석, PEDOT 또는 다른 전도성 폴리머, 및 탄소 나노튜브 또는 금속 나노와이어를 함침시킨 복합 재료로부터 선택된 투명 무기 및 유기 전도성 물질을 포함한다.
- [0067] 한 실시예에서, 나노구조들은 이에 제한되지 않지만, 탄소 나노튜브 또는 탄소 나노섬유 또는 산화 아연 나노로드 또는 실리콘 나노와이어 또는 다른 나노물질로 구성된다.
- [0068] 한 실시예에서, 상기 나노구조들은 전력 및 신호 처리 소프트웨어를 위한 외부 전기 회로에 접속되어 매개체(3000) 내의 분석물들의 공간 분해능을 획득할 수 있다.
- [0069] 한 실시예에서, 상기 나노구조들은 감지 능력을 향상시키기 위한 다양한 화학물질들로 기능화될 수 있다.
- [0070] 한 실시예에서, 상기 매개체 재료는 이에 제한되는 것은 아니지만, 공기, 용액, 액체, 폴리머, 세라믹, 오일, 실리콘, 퀼트, 운모, 태플론, 및 스트론튬, 완충 액 및 진공을 포함하는 목록으로부터 선택된다.
- [0071] 한 실시예에서, 상기 매개체는 인가된 전기장에 의해 분극화될 수 있는 전기 절연체되도록 하는 유전체이다. 이러한 것은 유전체 물질은 절연 물질이거나 전류의 매우 열악한 전도체라는 것을 의미한다. 유전체 물질이 전기장에 놓여지면, 상기 물질을 통해 이동될 수 있는 느슨하게 결합되거나 자유로운 전자들을 갖지 않는 이들을 통해 전류가 흐르지 않는다. 대신에, 전기 분극이 발생한다.
- [0072] 한 실시예에서, 촉매가 증착된(deposited) 위치들에서 나노물질들을 성장시키기 위해 화학 기상 증착 처리에 앞서 리소그래피, 딥 UV 리소그래피 또는 전자빔 리소그래피 기술들을 사용하여 기판 상에 패터닝된 영역들에 금속 촉매를 증발시킴으로써 나노 구조들이 기판 상에 형성될 수 있다.
- [0073] 한 실시예에서, 외부 전극을 위한 재료들은, 이에 한정되지는 않지만, 금속, 구리와 같은 전도성인 폴리머, 백금, 티타늄, 전도성 에폭시, 은 페인트, ITO(인듐 주석 산화물), ATO(안티몬 주석 산화물), 산화 주석, PEDOT 또는 기타 전도성 폴리머, 및 탄소 나노튜브 또는 금속 나노와이어 함침된 복합 재료, 은/염화은 기준 전극을 포함하는 리스트로부터 선택된다.
- [0074] 한 실시예에서, 상기 기판은 이에 한정되지는 않지만, 폴리머, 실리콘, 폴리아미드와 같은 가용성 기판을 포함하는 리스트로부터 선택된다.
- [0075] 한 실시예에서, 상기 기판은 이에 한정되지는 않지만, 규소 및 이산화 규소와 같은 강성 기판을 포함하는 리스트로부터 선택된다.
- [0076] 한 실시예에서, 상기 기판은 이에 한정되지는 않지만, 작은 와이어들 또는 금속 박막들과 같은 금속 접촉 라인들과 접속된 폴리머 막 내의 실리콘 섬들의 고체 및 가요성의 조합을 포함하는 리스트로부터 선택된다.
- [0077] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 특별 분해능으로 표면 및 분석물의 화학적 조성을 이미지화하는 전기화학 카메라로서 사용될 수 있다.
- [0078] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 또한 분석물의 화학적 조성 및 크기 분포에 대한 정전용량 감지 방법을 사용하는 화학 카메라로서 이용될 수도 있다.
- [0079] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 전계 방출 감지 기술을 사용하여 가스 혼합물 및 그 농도의 화학적 조성을 감지하기 위한 카메라 또는 인공 코로서 사용될 수 있다.
- [0080] 한 실시예에서, 본원에 설명된 바와 같은 시스템은 클라우드(원격 컴퓨팅 및 데이터 저장장치) 위치와 접속할 수 있고 데이터 분석을 수행할 수 있다.
- [0081] 한 실시예에서, 본원에 설명된 바와 같은 디바이스 및 시스템은 원격 컴퓨팅 위치(클라우드)와 접속할 수 있으며, 다수의 시스템들 및 디바이스들로부터의 데이터는 동시에 분석되어 다수의 시스템들로부터의 데이터의 비교를 가능하게 하고, 생태계의 스냅 샷을 생성한다.
- [0082] 한 실시예에서, 본원의 디바이스로서, 절연 층 내의 상기 전도성 부분은 광전지(208)이며; 물질이 광에 노출될 때 전기를 생성하여, 자력 디바이스에 대한 전자기파로부터 전기로의 에너지 수확을 가능하게 한다.
- [0083] 한 실시예에서, 하드웨어(4402)는, 이에 제한되는 것은 아니지만, 계측 전자장치, 연산 증폭기, 트랜지스터, 다이오드, 저항기, 커패시터, 마이크로컨트롤러, 인더터, 데이터 수집 전자장치, 신호 생성 전자장치를 포함한다.

- [0084] 한 실시예에서, 상기 하드웨어(4402)는 또한 데이터 수집 전자장치를 포함하며, 데이터 수집부는 데이터 수집 접속 포트, 증폭기, 아날로그 회로, 아날로그 - 디지털 변환기(ADC), 마이크로 컨트롤러 및 통신 포털을 포함하고, 신호 생성을 위한 하드웨어는 입력 설정 변수, 마이크로컨트롤러, 디지털 전위차계, 증폭기, 아날로그 회로, 버퍼 및 출력 포트 및 접속기를 포함한다.
- [0085] 다른 실시예에서, 소프트웨어(4403)는, 이에 제한되는 것은 아니지만, 원시 데이터 조작의 알고리즘 및/또는 처리들, 원시 데이터의 그래픽 표현, 기계 학습 알고리즘 및 인공 지능 알고리즘의 이용, 데이터베이스 내의 데이터 또는 시간에 걸쳐 학습된 데이터와 새로운 데이터의 비교, 및 디바이스(3000)로부터 생성된 데이터의 분석 출력을 생성하는 것을 포함하는 것들 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0086] 실시예에서, 나노구조들(207)은 나노물질들을 포함하며, 여기서 상기 나노물질들은 이에 제한되는 것은 아니지만, 나노튜브, 나노와이어, 나노-로드, 카본 나노튜브, 카본 나노섬유, 그래핀, 규소 나노와이어, 산화 아연 나노 로드, 복합 재료 등을 포함한다.
- [0087] 한 실시예에서, 어레이 내의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들은 적어도 두 개의 나노구조들의 범위를 가질 수 있다. 상기 어레이 내의 나노구조들의 범위는 예를 들어, 적어도 두 개, 적어도 3개, 적어도 4개, 적어도 5개, 적어도 6개, 적어도 7개, 적어도 8개, 적어도 9개, 적어도 10개, 적어도 11개, 적어도 12개, 적어도 13개, 적어도 14개, 적어도 15개, 적어도 16개, 적어도 17개, 적어도 18개, 적어도 19개, 적어도 20개, 적어도 21개, 적어도 22개, 적어도 23개, 적어도 24개, 적어도 25개, 적어도 26개, 적어도 27개, 적어도 28개, 적어도 29개, 적어도 30개, 적어도 31개, 적어도 32개, 적어도 33개, 적어도 34개, 적어도 35개, 적어도 36개, 적어도 37개, 적어도 38개, 적어도 39개, 적어도 40개, 적어도 41개, 적어도 42개, 적어도 43개, 적어도 44개, 적어도 45개, 적어도 46개, 적어도 47개, 적어도 48개, 적어도 49개, 적어도 50개, 적어도 60개, 적어도 70개, 적어도 80개, 적어도 90개, 적어도 100개, 적어도 200개, 적어도 300개, 적어도 400개, 적어도 500개, 적어도 1000개, 적어도 100,000개, 적어도 1000,000개, 적어도 1000,000,000개, 또는 그 이상으로 변할 수 있다.
- [0088] 한 실시예에서, 단지 2 나노구조들만이 감지 응용에 사용된다.
- [0089] 다른 실시예에서, 10,000,000개의 나노구조들이 검출을 위해 300 mm 길이의 표면을 스캔하는 데 사용된다.
- [0090] 또 다른 실시예에서, 10,000개의 나노구조들이 셀 집단을 모니터링하기 위해 전기화학 또는 정전용량 임피던스 분광을 측정하는 데 사용된다.
- [0091] 한 실시예에서, 나노물질들은, 이에 제한되는 것은 아니지만, 예를 들어 나노튜브, 나노-로드, 나노와이어, 2D 재료, 더 구체적으로는 이에 제한되는 것은 아니지만 그래핀, 탄소 나노튜브, 규소 나노와이어 등을 포함하는 소자들 및 혼합물의 서브-미크론(sub-micron) 두께의 배열로 형성되는 재료이다.
- [0092] 한 실시예에서, 어레이 내의 나노구조들은 베이스 영역, 높이 및 나노구조들 사이의 거리를 갖는다.
- [0093] 다른 실시예에서, 나노구조들은 그들 자신의 각각의 베이스 영역, 높이 및 나노구조 내에서 나노물질 사이의 거리를 갖는 나노물질을 포함한다.
- [0094] 한 실시예에서, 나노구조들은 매개체(3000)에 의해 덮여지고, 여기서 매개체(3000)는 나노구조들의 높이보다 적어도 약 1 nm 내지 500,000 μm 더 두껍다.
- [0095] 한 실시예에서, 셀들을 모니터링하거나 검출하거나 또는 조작하는 방법은 본원에서 설명된 시스템을 사용한다.
- [0096] 한 실시예에서, 상기 설명된 디바이스는 셀을 조작하는 데 사용되며, 상기 셀의 조작은 셀 포레이션을 포함하며, 전하가 상기 나노구조(207)를 사용하여 상기 셀 막(1401)으로 전달되고, 상기 전하는 상기 셀에 충격을 일으키고, 상기 셀 막은 전하를 전달하는 데 사용되는 나노구조(207)에서 위치 특이적으로 개방된다(1404).
- [0097] 한 실시예에서, 한 방법에서, 셀 내 및 셀 주위의 화학물질들 및 분석물들이 검출될 수 있고, 화학물질들 및 분석물들의 검출은, 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 기술들을 사용하여, 셀 내 분석물 측정, 셀 막에 걸친 전위들 및 분석물들의 측정, 셀들의 미세 환경에서의 분석물 측정을 포함한다.
- [0098] 한 실시예에서, 상기 설명된 디바이스에서, 기능화된 나노구조들(5207)은 일렉트로포레이션(electroporation)을 사용하여 셀을 손상시키지 않으면서 셀 내부에 화학물질들을 전달하는 데 사용되며, 상기 나노구조의 작용기는 셀 내부로 전달될 수 있다.
- [0099] 한 실시예에서, 상기 설명된 디바이스에서, 셀 모니터링은 전기화학, 정전용량 또는 전계 방출 감지를 사용하여

이동, 화학물질 및 분석물 배출 및 유입에 대해 모니터링되는 셀을 포함하며, 상기 셀은 매개체(3000) 내의 분리된 단일 셀이거나, 상기 셀은 매개체 내의 셀 집단 내의 단일 셀고, 상기 셀은 다수의 다른 셀들과 상호작용한다.

- [0100] 한 실시예에서, 상기 설명된 디바이스에서, 검출 셀은 화학물질 및 분석물의 검출을 포함하며, 상기 화학물질 및 분석물은 상기 매개체(3000) 내의 단일 셀의 미세 환경 내에 있고, 단일 셀 막의 화학적 활성도는 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들을 사용하여 특별 분해능으로 검출될 수 있고, 상기 셀들은 체내에 있고, 상기 셀들은 시험관 안에 있다.
- [0101] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 고체 표면 상에, 액체 용액 내에 또는 가스 내의 화학물질에 대한 다중 분석물 검출 시스템으로서 사용될 수 있다.
- [0102] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 문자, 이온, DNA, RNA, 단백질, 유기 화합물 및 무기 화합물을 검출하는 데 사용될 수 있다.
- [0103] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 또한 나노입자를 검출하고 나노입자의 크기, 나노입자의 공간적 위치, 나노입자의 물질 및 나노입자들의 농도/수를 구별하는 데 사용될 수 있다.
- [0104] 한 실시예에서, 나노구조들은 상이한 기능성 물질들에 의해 기능화될 수 있어 특이성을 갖는 다중 분석물 검출을 가능하게 할 수 있다.
- [0105] 한 실시예에서, 상기 디바이스는 분리된 단일 셀, 셀 집단 내의 단일 셀, 셀들의 상호작용, 단일 셀의 미세 환경을 모니터하는 데 사용될 수 있으며, 체내 및 시험관 안의 단일 셀 막의 화학적 활성도의 특별 분해능을 제공할 수 있다. 한 실시예에서, 나노구조들의 개별적인 어드레스 능력은 다양한 나노구조들에 가변 신호들이 보내질 수 있게 하여, 다중의 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 검출 기술들이 분석물들의 검출을 위해 동시에 이용될 수 있게 한다.
- [0106] 유사하게, 한 실시예에서, 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들에 상이한 신호들을 인가하는 것은, 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 감지 방법들을 사용하여 다중 분석물 검출을 가능하게 한다.
- [0107] 유사하게, 한 실시예에서, 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들에 상이한 신호들을 인가하는 것은, 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 감지 기술들을 사용하여 다중 분석물 검출을 가능하게 한다.
- [0108] 한 실시예에서, 나노구조들 상의 다양한 기능화와 결합되어, 디바이스 사용 및 응용의 다양한 순열 및 변형이 실현될 수 있다. 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 다중 분석물 검출이 상기 시스템을 사용하여 달성된다.
- [0109] 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 다수의 분석물들이 동시에 검출될 수 있다. 다수의 분석물들은, 1개 이상, 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 6개 이상, 7개 이상, 8개 이상, 9개 이상, 10개 이상, 11개 이상, 12개 이상, 13개 이상, 14개 이상, 15개 이상, 16개 이상, 17개 이상, 18개 이상, 19개 이상, 20개 이상, 30개 이상, 40개 이상, 50개 이상, 60개 이상, 70개 이상, 80개 이상, 90개 이상, 100개 이상, 200개 이상, 300개 이상, 400개 이상, 500개 이상, 제한없는 양의 분석물들을 의미한다.
- [0110] 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 다수의 분석물들은 실시간으로 검출될 수 있다.
- [0111] 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 검출은 전기화학 분광법, 정전용량 감지 또는 전계 방출 감지의 하나 이상을 사용하여 수행된다.
- [0112] 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 분석물의 크기가 결정된다.
- [0113] 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 분석물의 농도가 검출된다.
- [0114] 한 실시예에서, 상기 설명된 바와 같은 디바이스에서, 상기 시스템은 원격 컴퓨팅 및 데이터 저장 위치들을 더 포함한다.
- [0115] 한 실시예에서, 화학물질들은 일렉트로포레이션을 사용하여 셀 내로 전달된다.
- [0116] 한 실시예에서, 상기 화학물질들은 나노구조들 상의 작용기들이 셀들과 접촉하게 될 때 상기 셀로 전달된다.
- [0117] 한 실시예에서, 상기 화학물질들은, 작은 전하가 기능화된 나노구조에 적용되고 상기 작용기가 상기 나노구조로부터 방출되어 상기 셀에 의해 흡수될 때, 상기 셀로 전달된다.

- [0118] 한 실시예에서, 상기 셀은 상기 나노구조들에 의해 상기 셀로 전달되는 전기 전하에 의해 조작된다.
- [0119] 한 실시예에서, 상기 셀은 상기 나노구조들을 기능화하기 위해 사용된 작용기에 의해 조작된다.
- [0120] 한 실시예에서, 상기 셀은 칩 홀더 내의 미세 유체를 사용하여 상기 셀에 전달된 자극제(stimulants) 및 화학물질에 의해 조작된다.
- [0121] 한 실시예에서, 상기 셀은 전하, 화학물질, 열 또는 빛과 같은 외부 자극에 반응하도록 될 때 조작된다.
- [0122] 한 실시예에서, 상기 셀의 움직임은 매개체에서 모니터링된다.
- [0123] 한 실시예에서, 상기 셀의 분열은 매개체에서 모니터링된다.
- [0124] 한 실시예에서, 줄기 세포(stem cell)의 형질전환(transformation)은 매개체에서 모니터링된다.
- [0125] 한 실시예에서, 상기 셀에 의해 분비된 화학물질은 매개체에서 모니터링된다.
- [0126] 한 실시예에서, 상기 셀에 의해 흡수된/빨아들인 화학물질은 매개체에서 모니터링된다.
- [0127] 한 실시예에서, 상기 셀의 움직임은 매개체에서 검출된다.
- [0128] 한 실시예에서, 상기 셀 분열은 매개체에서 검출된다.
- [0129] 한 실시예에서, 상기 줄기 세포의 형질전환은 매개체에서 검출된다.
- [0130] 한 실시예에서, 상기 셀에 의해 분비된 화학물질들은 매개체에서 검출된다.
- [0131] 한 실시예에서, 상기 셀에 의해 흡수된/빨아들인 화학물질은 매개체에서 검출된다.
- [0132] 한 실시예에서, 상기 시스템(4000)은 높은 검출 효율로 수행되는 것과 동시에 다중 분석물을 감지할 수 있다.
- [0133] 한 실시예에서, 상기 시스템(4000)은 차동 감지를 이용할 수 있다.
- [0134] 한 실시예에서, 상기 시스템(4000)은 전극 어레이들로서 고 표면적 나노구조들을 이용할 수 있다.
- [0135] 한 실시예에서, 상기 시스템(4000)은 고정밀 측정 및 높은 신호 대 잡음비 측정을 위한 하드웨어 및 민감한 전자장치들을 이용할 수 있다.
- [0136] 한 실시예에서, 상기 시스템(4000)은 감지를 항상시키기 위해 소프트웨어 알고리즘을 이용할 수 있다.
- [0137] 장점
- [0138] 본 발명의 다양한 양태들 및 실시예들을 설명하였으며, 본 발명에 의해 다음과 같은 예시적인 이점들이 달성된다:
- [0139] 1- 디바이스 및 시스템은 다중 분석물 검출을 실시간으로 동시에 수행할 수 있다.
- [0140] 2- 디바이스와 시스템은 화학 카메라로서 작용할 수 있다.
- [0141] 3- 디바이스 및 시스템은 화학적 (가스) 검출을 위한 인공 코로서 작용할 수 있다.
- [0142] 4- 디바이스 및 시스템은 분리된 단일 셀, 셀 집단 내의 단일 셀, 셀들의 상호작용, 단일 셀의 미세 환경을 모니터링할 수 있으며, 생체 내 및 시험관 내의 단일 셀 막의 화학적 활성도(chemical activity)의 특별 분해능을 제공할 수 있다.
- [0143] 5- 디바이스 및 시스템은 휴대용이고 핸드 헬프(hand help)이며 견고하며 에너지를 적게 소비한다.
- [0144] 6- 디바이스 및 시스템은 수동 센서들을 가지므로 전력을 거의 소비하지 않는다
- [0145] 8- 테스트를 수행하는 데 필요한 샘플의 양은 센서들의 크기에 정비례하며 디바이스들은 극히 작기(서브 마이크론에서 수십 나노미터) 때문에 다중 분석물 검출은 매우 적은 샘플들로 수행될 수 있는데, 이러한 샘플은 값비싸거나 간혹 샘플들의 많은 부분이 사용가능하지 않을 수 있다.
- [0146] 9- 디바이스 및 시스템은 분석물들의 농도/수, 그들의 재료 및 공간 위치와 함께 나노 입자들과 같은 분석물들의 화학적 검출 및 크기 검출을 수행할 수 있다.
- [0147] 10- 시스템은 컴퓨터 분석, 데이터 저장을 위해 클라우드 네트워크에 접속될 수 있다.

- [0148] 11- 시스템은 인구 통계학 연구를 위해 활용될 수 있는 시스템들에 접속된 다중 시스템들 및 다중 디바이스들로부터의 데이터에 대한 계산을 수행할 수 있다.
- [0149] 12 - 나노구조들(탄소 나노튜브 기반) 및 상부 전극으로 인한 높은 전기장.
- [0150] 13- 수동 디바이스이기 때문에 동작을 위해 디바이스에 소비되는 낮은 전력 소비.
- [0151] 14 - 설계의 유연성을 허용.
- [0152] 15- 동일한 위치에서 더 많은 수의 센서들로부터 데이터를 수집하기 때문에(다른 기술들은 1개의 센서를 가지고 있지만, 본 발명은 동일한 영역에 다중 센서를 패킹할 수 있음), 분해능이 높아지며, 외부 데이터 포인트들(outlier data-points)을 제거할 수 있는 스마트 알고리즘에 의해 잘못된 신호들이 방지될 수 있다.
- [0153] 16 - 초고도의 민감도 정전용량 기반의 지문 센서가 실현될 수 있다.
- [0154] 17 - 서브 마이크론 레벨에서 압력의 공간 분해능이 검출되고 매핑될 수 있다.
- [0155] 18- 100 내지 1000 마이크로미터 범위 두께의 독립형이며 소형인 디바이스가 활용될 수 있다.
- [0156] 19- 디바이스가 유연한 기판 상에 통합될 수 있다.
- [0157] 여기에 기술된 본 발명의 배열, 디바이스 및 방법의 다른 적절한 수정 및 개조는 본 발명의 범위 또는 여기에서 개시된 실시예로부터 벗어남이 없이 적절한 등가물을 사용하여 이루어질 수 있음은 당업자에게 자명할 것이다. 본 발명을 상세하게 설명하였지만, 동일한 설명이 다음의 예들을 참고로 하여 더 명확하게 이해될 것이며, 이들은 단지 예시의 목적을 위해 포함된 것으로 본 발명을 제한하고자하는 것은 아니다.
- [0158] 예
- [0159] 다음은 본 발명의 디바이스들, 시스템들 및 애플리케이션들의 일부의 예들이다.
- [0160] 한 예에서, 나노구조들은 탄소 나노튜브들, 실리콘 나노와이어들, 산화 아연 나노 로드들, 탄화 규소 나노와이어들, 탄소 나노 섬유들로 이루어질 수 있다. 일 예에서, 나노구조들은 1 마이크로미터 내지 1 나노미터 크기일 수 있다. 예를 들어, 칩 홀더는 부식성 화학물질에 강한 플라스틱 또는 금속으로 구성될 수 있다. 한 예에서, 칩 홀더는 나노구조 디바이스들을 포함하는 칩과 접속하기 위한 포고 핀들(pogo pins)을 가질 수 있다.
- [0161] 예에서, 하드웨어는 신호 생성기 및 데이터 수집 시스템으로서 다중채널 전위차계를 가질 수 있다. 예에서, 소프트웨어는 독립형 전자장치, 컴퓨터, 랩탑, 모바일 전자장치 또는 클라우드 컴퓨팅 시스템에서 실행될 수 있다. 예에서, 소프트웨어는 데이터 분석을 수행하도록 기계 학습 알고리즘 및/또는 인공 지능 알고리즘을 가질 수 있다.
- [0162] 한 예에서, 셀은 나노구조들의 상단에 있는 매개체에 놓일 수 있다. 셀은 임의의 유형의 셀이 될 수 있고, 특정 예들에서는 인체의 세포가 될 수 있다. 특정의 예에서 셀은 줄기 세포가 될 수 있다. 줄기 세포는 나노구조들의 상단에 있는 매개체 내에 놓일 수 있다. 예를 들어, 줄기 세포는 나노구조들의 상단에 있는 매개체 내에 놓일 수 있으며, 전기화학 임피던스 분광법이 줄기 세포에서 뼈 셀로의 형질전환을 모니터링하는 데 사용될 수 있다.
- [0163] 한 예에서, 건강한 뼈 세포는 나노구조들의 상단에 있는 매개체 내에 놓일 수 있다. 한 예에서, 건강한 뼈 세포는 나노구조들의 상단에 있는 매개체 내에 놓여 방사선에 노출될 수 있으며, 상기 나노구조들은 정전용량 단층 촬영 센서들로 사용되어 건강한 세포의 뼈 세포에서 암 세포로의 형질전환을 모니터링할 수 있다.
- [0164] 한 예에서, 공기 중에 전계 방출 전류를 생성하는 인접한 나노구조들 사이에 전압이 인가된다. 한 예에서, 공기 중에 전계 방출 전류를 생성하는 인접한 나노구조들 사이에 전압이 인가되고 상기 나노구조들은 사람의 호흡(breath)에 노출된다. 수증기와 함께 사람의 호흡 내의 가스의 상이한 농도의 존재는 상기 전계 방출 전류를 변경시키며, 이러한 것은 나노구조 디바이스에 접속된 하드웨어 및 소프트웨어에 의해 검출될 수 있다.
- [0165] 한 예에서, 적어도 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 인가된 전압은 DC 전압이 된다. 한 예에서, 적어도 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 인가된 전압은 약 10 V 내지 -10 V의 범위이다. 한 예에서, 적어도 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 인가되는 전압은 약 5 V 내지 -5 V의 범위이다. 한 예에서, 적어도 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 인가되는 전압은 약 1 V 내지 -1 V의 범위이다. 한 예에서, 적어도 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 인가되는 전압은 약 1 mV 내지 -1 mV의 범위이다. 한 예에서, 적어도 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 인가된 전압의 주파수는 약 0.01 Hz 내지 -100 MHz의 범위이다.

- [0166] 도 1은 본원에 그 전체가 참고로 인용된 WO2013001076에 기재된 바와 같은 나노구조 어레이를 제조하는 방법을 예시한다.
- [0167] 도 2는 WO2013001076에 기술된 바와 같이 나노구조 어레이 제조의 단계들을 도시하며, 도 2a에서, 201은 면들(202, 203)을 갖는 비전도성 기판이고; 도 2b에서, 204는 금속 스택이고, 205는 전도성 금속이고, 206은 기판(201)의 면(202) 상에 위치된 측매이며, 도 2c에서, 207은 나노구조들이고, 208은 기판(201) 내에 형성된 전도성 부분이며, 도 2d에서, 209는 전기적 부분(210)을 갖는 제 2 비전도성 기판이고, 전기적 부분(210)은 기판(201)의 면(203)에서 전도성 부분들(208)에 전기 접촉을 제공한다.
- [0168] 도 3은, WO2013001076에 기술된 바와 같이, 전도성 부분들(208)을 갖는 비전도성 기판(201)의 면(202) 상에 있는 나노구조들(207) 및 상기 제 1 비전도성 기판(201)의 면(203) 상에 있는 전기적 부분(210)을 갖는 제 2 비전도성 기판(209)을 포함하는 디바이스(300)를 도시한다.
- [0169] 도 4는 WO2013001076에 기술된 바와 같은 디바이스들(410, 411 및 412)의 실시예들을 도시하며, 도 4a에서, 나노구조들(207)은 비전도성 기판(201) 내의 전도성 부분(208)을 통해 전도성 구조들(210)과 접속되고, 도 4b에서, 나노구조들(207)은 정전용량 결합을 통해 비전도성 기판(201) 내의 전도성 부분(208)을 통해 전도성 구조들(210)과 접속되며, 도 4c에서, 나노구조들(207)은 비전도성 기판(201)내의 전도성 부분(208)을 통해 전도성 구조들(210)과 접속되고, 다른 전기적 부분(403)이 나노구조들(207)에 대한 제 2 접촉 경로를 제공한다.
- [0170] 도 5는 디바이스(412)를 더 상세히 도시하며, 여기에서 나노구조들(207)은 비전도성 기판(201) 내의 전도성 부분(208)을 통해 전도성 구조들(210)과 접속되고, 또 다른 전기적 부분(403)이 나노구조들(207)에 대한 제 2 접촉 경로를 제공한다.
- [0171] 도 6은 시스템(4000)의 요건을 열거하는 흐름도를 도시한다. 요건은 이러한 열거에 제한되지 않는다. 상기 요건은 전기화학, 정전용량 및 전계 방출 기반의 센서들로서 나노구조 기반 디바이스(300)를 이용하기 위한 칩 홀더(4401), 하드웨어(4402) 및 소프트웨어(4403)를 포함한다. 상기 시스템(400)은 적어도, 나노구조 어레이에 대한 전기적 접속(4411)과 고체, 액체 또는 가스와의 상호작용을 위한 미세유체(4421)와 데이터 수집부 및 신호 생성 하드웨어를 포함하는 하드웨어(4402)에 대한 외부의 전기적 접속부들에 대한 접속(4431)을 제공할 수 있는, 칩 홀더(4401)를 필요로 하며, 여기에서 상기 데이터 수집부는 이에 제한되는 것은 아니지만 데이터 수집 및 접속 포트, 증폭기 및 아날로그 회로, ADC, 마이크로컨트롤러 및 통신 포털을 포함한다. 또한, 상기 하드웨어(4402)는 이에 제한되는 것은 아니지만 신호 생성기들을 포함하고, 여기에서 신호 생성을 위한 하드웨어는 이에 제한되는 것은 아니지만 입력 설정 변수, 마이크로컨트롤러, 디지털 전위차계, 증폭기, 아날로그 회로, 버퍼 및 출력 포트, 무선 통신 하드웨어 및 접속기를 포함한다. 데이터 처리 소프트웨어(4403)는 이에 제한되는 것은 아니지만 원시 데이터, 원시 데이터의 그래픽 표현, 기계 학습 알고리즘, 학습된 데이터 또는 데이터베이스와의 비교, 분석 출력을 포함한다. 상기 소프트웨어는 컴퓨터 또는 모바일 전자 디바이스 또는 독립형 전자장치에서 실행될 수 있다.
- [0172] 도 7은 다양한 예시들의 디바이스(300)를 도시한다. 디바이스(412)가 도면에 도시되며, 여기서 나노구조들(207)이 도시된다. 또한 도시된 바와 같이, 나노구조들(207)이 전도성 부분들(208)에 접속하는 전도성 부분들(210)을 갖는 비전도성 기판(209) 내의 전도성 부분(208)에 접속된다. 또한 상세히 도시된 바와 같이, 나노구조들(207)은 높이(2220)와 베이스 크기(2210)를 갖는다. 또한 도시된 바와 같이, 나노구조들(207)은 높이(2211) 및 베이스 크기(2212)를 갖는 나노물질(2203)로 구성된다. 나노구조들(207) 사이의 간격은 (800)이고 나노물질들 사이의 간격은 (2213)이다. 또한 도시된 바와 같이, 나노구조들은 상이한 전하들로 개별적으로 하전될 수 있으며, 상기 전하는 양 또는 음이다.
- [0173] 도 8은 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들(207)의 어레이 및 디바이스(300)를 도시하며, 각각의 나노구조는 센서 또는 전극으로서 작용하며, 상기 나노구조들(207)은 그에 부착된 작용기(functional group)로 기능화된다. 기능화된 나노구조(5207). 각각의 나노구조는 기판 내의 전도성 부분(208)에 의해 비전도성 기판(201)에 접속된다. 나노구조의 텁 내의 나노입자(503)가 또한 도시되며, 촉매(206)의 재료로 구성된다.
- [0174] 도 9는 분석물(600)을 함유하는 매개체(3000) 내의 나노구조 어레이(207)의 단면도 및 상면도를 도시하며, 여기서 나노구조들은 감지 응용을 위해 하전되고, 정전용량(700)이 나노구조들 사이에 형성된다.
- [0175] 도 10은 시스템(4000)의 예를 도시하며, 여기에서 나노구조 어레이 기반의 디바이스(300)가 전기 접촉부(4411) 및 미세유체(4421)를 갖는 칩 홀더(4401) 내에 있다. 상기 칩 홀더는 전기 접속부(4431)를 통해 하드웨어(4402)에 접속된다. 상기 하드웨어(4402)는 신호들을 제공하고 나노구조 어레이 기반의 디바이스(300)로부터 데이터

수집을 수행한다. 상기 하드웨어(4402)는 소프트웨어(4403)가 데이터에 대한 분석을 수행하고 보고를 제공하는 컴퓨터 또는 모바일 디바이스에 접속된다.

[0176] 도 11은 나노구조 어레이 기반의 디바이스(300)가 전기 접촉부(4411) 및 미세유체(4421)를 갖는 칩 홀더(4401) 내에 있는 시스템(4000)의 예 및 실제 제조품을 나타낸다. 상기 칩 홀더는 전기 접속부(4431)를 통해 하드웨어(4402)에 접속된다. 상기 하드웨어(4402)는 신호들을 제공하고, 나노구조 어레이 기반의 디바이스(300)로부터 데이터 수집을 수행한다. 상기 하드웨어(4402)는 소프트웨어(4403)가 상기 데이터에 대한 분석을 수행하고 보고를 제공하는 컴퓨터 또는 모바일 디바이스에 접속된다.

[0177] 도 12는 전기화학 센서 또는 정전용량 센서 또는 전계 방출 센서 어레이와 같은 센서들로서 사용되는 나노구조(207) 어레이를 도시한다. 하드웨어(4402)는 상기 센서 어레이에 필요한 신호들을 생성하고 수신하는 데 사용될 수 있다. 하드웨어(4402)는 전기화학 분광법을 위한 전위차계가 될 수 있지만 이에 한정되지는 않는다. 각각의 나노구조로부터의 결과적인 신호들이 소프트웨어(4403)에 의해 이용되어, 매개체(3000) 내의 분석물의 화학적, 정전용량 또는 전계 방출 기반의 이미지를 준비할 수 있다. 각각의 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조(207)는 상기 이미지화를 위한 단일 핵심으로서 작용한다. 상기 나노구조들은 전기화학 분광 처리, 정전용량 감지 또는 전계 방출 기반의 감지에서 작동 전극으로서 작용한다. 외부 전극들(701)이 전기화학 감지와 같은 예들로 사용될 수 있으며, 여기서 (701)은 3-전극 측정 셋업에서 카운터 또는 기준 전극 또는 양쪽 전극들이 될 수 있다. 모든 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들(207)은 카운터 전극 및 기준 전극과 같은 공유된 외부 전극들(701)과 함께 작동한다.

[0178] 도 13은 전도성 부분들(208)을 갖는 비전도성 기판(201) 상의 나노구조들(207)의 배열을 도시한다. 상기 전도성 부분들(208)은 비전도성 기판(209)의 전도성 부분들(210)에 접속된다. 상기 나노구조들(207)은 분석물들(600)을 갖는 매개체(3000)로 덮여있다. 매개체(3000) 내의 외부 전극(701)과 나노구조들 사이에 전압(900)이 인가되면, 전하 물질(800)이 적절한 반대로 하전된(opposite charged) 나노구조들 또는 외부 전극 쪽으로 흐른다. 이러한 방법은 용액 내의 물질들의 전기화학 검출을 수행하는 데 사용될 수 있다. 또한, 기판 상에 성장한 후의 나노구조들을 기능화하는 방법이 와카스(Waqas) 등의 특허 [2]에서 논의된다. 이러한 도면에서의 배열은 전기중합법(electropolymerization)을 사용하여 나노구조들을 더 기능화하는 데 사용될 수 있으며, 여기에서 전위가 기능화되어야하는 나노구조들에 적용되고 반대 극성의 전하가 이러한 배열에서 전극들로 사용되는 개별적으로 어드레스 가능한 나노구조들의 나머지에 적용될 수 있어, 비-특이적 결합(non-specific binding)을 방지하고 관심있는 나노 전극들에 대한 기능화만을 보장한다. 이러한 도면에서의 배열은 표면 흡착(용액 내에 기능화 효소 및 다른 화학물질을 갖는 나노구조들을 담금)을 사용하여 나노구조들을 더욱 기능화하는 데 사용될 수 있다. 단백질, 항체 및 효소는 이 방법을 사용하여 나노구조들을 기능화하는 데 사용될 수 있다. 상이한 나노구조들이 상이한 방법들로 기능화될 수 있다. 따라서, 모든 기술들은 다중 분석물의 전기화학 분광 검출을 동시에 수행하는 데 이용될 수 있다.

[0179] 도 14는 셀 응용들에 대해 도 12에서 설명된 전기화학 센서 디바이스의 작동 원리의 세부 사항을 도시한다. 매개체(3000) 내에 기능화된 나노구조(5207) 어레이 상에 놓여있는 단일 셀의 단면이 도시되어 있다. 나노구조들(207)은 비전도성 기판(201) 상에 배열된다. 셀을 조작하기 위해, 나노구조들 중 하나에서 양전하가 인가되고, 셀 막(1401)이 개방되는 곳에서 부위 특정의 일렉트로포레이션(site-specific electroporation)이 달성된다(1404). 이러한 것은 상기 셀 내의 유체의 흐름이 상기 셀 밖으로 흐르게 하고 전하가 인가되는 나노구조의 위치에서 매개체(3000)와 섞이게 된다. 이것은 셀 내부의 분석물(600)이 나노구조와 근접하게 있게 하고 그에 따라 전기화학 분광법을 사용하여 검출될 수 있다. 또한, 일렉트로포레이션 부위에 인접한 나노구조들을 사용하여 도면에서 별들(600)로 묘사된 것과 같은 화학 신호들이 수집될 수 있다. 이러한 방법을 사용하여 나노구조들 및 셀 내 분자들에 대한 작용기들의 상호작용이 또한 달성될 수도 있다. 각각의 나노구조에 인가된 전압을 제어함으로써, 셀 표면의 이미지가 전기화학적으로 생성될 수 있다. 이러한 기술은 셀들이 어떻게 움직이고 분열하는지를 포함하여 다양한 셀 행동들을 모니터하는 데 사용될 수 있다. 따라서, 이러한 도면은 셀을 조작하고 그 거동을 모니터하고 매개체의 셀 막에 가까운 환경인 그 미세 환경에서 셀 안팎의 다양한 화학물질들을 검출할 수 있는 방법을 보여준다. 이러한 방법의 일부 응용들은 암을 검출하고 암의 아주 초기 단계에서 셀 표면 상의 화학적 조성들의 영향을 모니터하는 데 사용될 수 있다. 알츠하이머 및 파킨슨병의 영향을 받을 때 신경 세포의 퇴행성을 모니터하는 데에도 사용될 수 있다. 또한 예를 들어 세포가 혈액 세포 또는 뼈 세포로 변형되기 전에 줄기 세포 미세 환경에서 발생하는 특정 화학 변화를 모니터하고 검출할 수 있다.

[0180] 도 15의 a-o는 다양한 나노구조 어레이 크기들의 주사 전자(SEM) 현미경 사진들을 도시한다. 나노구조들의 길이는 나노구조들의 베이스 크기와 함께 조절될 수 있다. a-b는 이산화 규소 막들에 매립된 전도성 부분(210)과 함

께 나노구조(207) 어레이를 도시한다. 본 예에서 나노구조들은 베이스 크기가 500 nm 제곱이며 나노물질, 탄소 나노튜브들로 구성된다. 탄소 나노튜브들의 높이는 500 nm에서 수 미크론의 범위이다. 도 15의 a에서는 또한 상단 금속 접촉부(403)를 볼 수 있다. 도 15의 a-i는 어레이들에서 나노구조(207)의 다양한 실제 모양과 크기를 보여 주며, 현미경 사진은  $32 \times 6$  어레이의 나노구조들(도 15의 c 및 f)을 보여주고, 다른 것들은 어레이들에서 카리우스(carious) 나노구조들의 현미경사진을 확대하여 보여준다. 도 15의 j-m은 나노튜브들이 수백 미크론 높이인 탄소 나노튜브들로 구성된 나노구조들의 더 긴 베이스라인을 보여준다. 도 15의 n-o는 나노구조들이 배열의 전반에 걸쳐 베이스 크기와 길이가 변화하는 나노구조들의 복잡한 배열을 보여준다. 따라서, 도 15는 나노구조 기반 어레이 디바이스들의 다양한 발현들을 보여준다.

[0181] 도 16의 a-e는 산화 아연 나노 로드들(5207)로 기능화된 탄소 나노튜브 기반의 나노구조들의 현미경 사진이다. 도 16의 d는 풍부하게 산화 아연 나노-로드들로 기능화된 탄소 나노튜브들로 이루어진 나노구조들의 평면도(1601)를 나타낸다. 도 16의 e는 기능화가 성긴 상태인 탄소 나노튜브들로 구성된 나노구조들의 측벽들(1602)을 나타낸다.

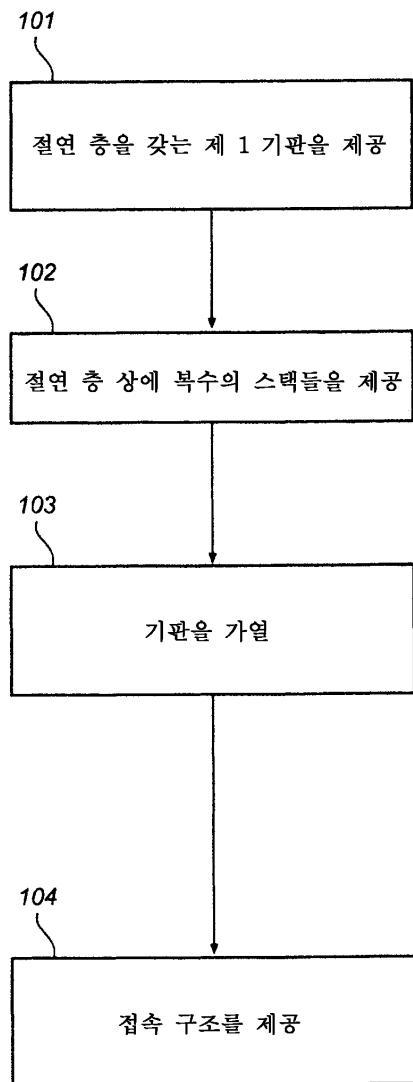
[0182] 도 17은 감지 응용을 위해 나노구조들이 하전되고 나노구조들 사이에 정전용량(700)이 형성된 나노구조 어레이(207)의 단면도를 도시한다. 인접한 나노구조들 사이에 전계 방출이 발생하며, 여기에서 전압 인가의 결과로서 전자들이 한 나노구조들에서 다른 나노구조들로 이동한다. 가스들이 나노구조를 지나갈 때, 가스들의 이온화가 일어나서 전계 방출 전류에 변화를 일으킨다. 이때, 이러한 변화는 본원에서 설명된 하드웨어(4402) 및 소프트웨어(4403)를 사용하여 검출될 수 있다. 이러한 것은 공기 매개체(3000) 내에서 분석물(600)로서의 가스들의 존재를 감지하기 위해 나노구조들(207) 사이의 전계 방출을 위한 나노구조 어레이 기반의 디바이스를 이용하는 예이다.

[0183] 도 18은 전계 방출 기반의 감지 디바이스로서 탄소 나노튜브들(CNTS)로 구성된 나노구조 어레이를 사용하여 호흡을 검출하는 그래프를 도시한다. 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 전압이 인가되고 전류(전계 방출 전류)가 측정된다. 화살표들(1901)은 CNT 나노구조들이 사람의 호흡에 노출된 시간을 나타내고, 화살표들(1902)은 사람의 호흡에 대한 노출이 제거된 시간을 나타낸다. 나노구조들이 사람의 호흡에 노출될 때 나노구조들 사이의 전계 방출 전류(y 축)가 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 이러한 기술을 사용하여 가스들이 검출될 수 있다.

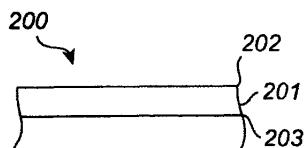
[0184] 도 19는 전계 방출 기반의 감지 디바이스로서 탄소 나노튜브들(CNTS)로 구성된 나노구조 어레이를 사용하여 호흡을 검출하는 또 다른 그래프를 도시한다. 두 개의 인접한 나노구조들 사이에 전압이 인가되고 전류(전계 방출 전류)가 측정된다. 화살표들(1901)은 CNT 나노구조들이 사람의 호흡에 노출된 시간을 나타내고, 화살표(1902)는 사람의 호흡에 대한 노출이 제거된 시간을 나타낸다. 나노구조들이 사람의 호흡에 노출될 때 나노구조들 사이의 전계 방출 전류(y 축)가 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 이러한 기술을 사용하여 가스들이 검출될 수 있다.

도면

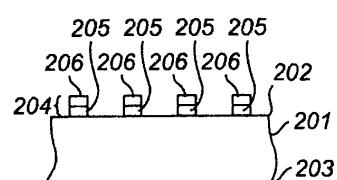
도면1



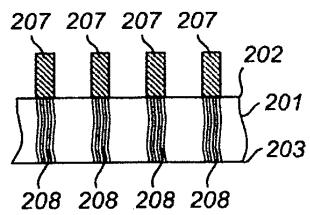
도면2a



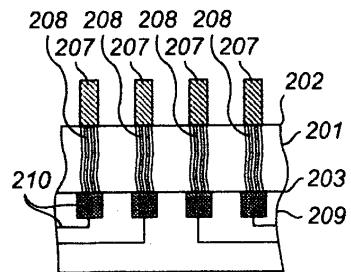
도면2b



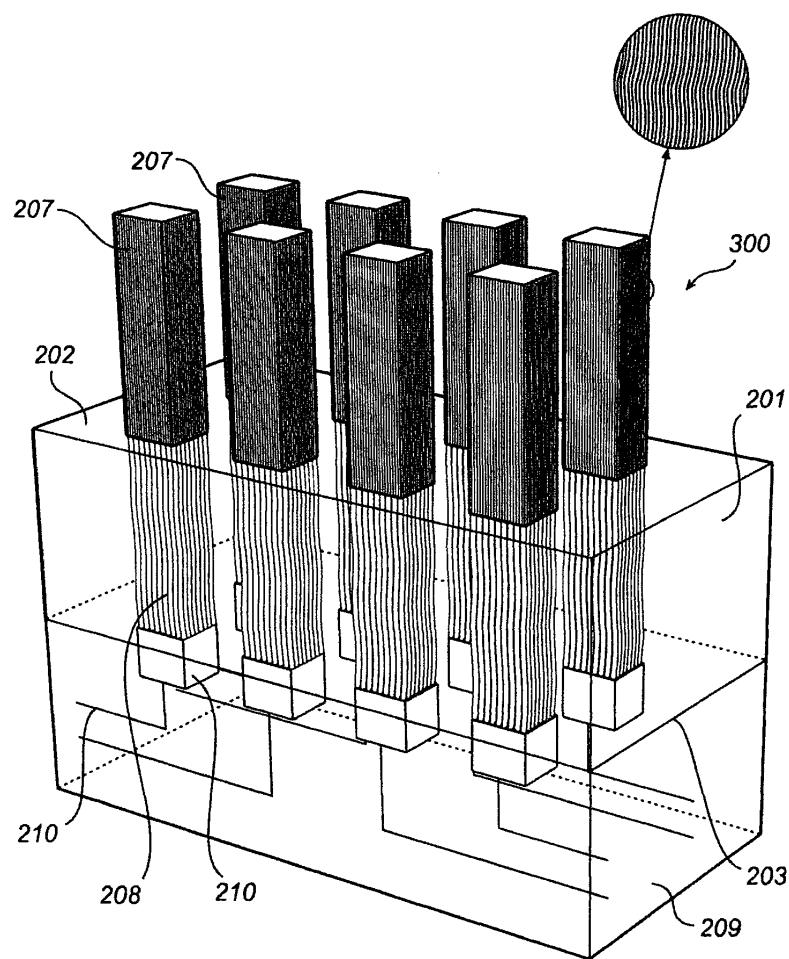
도면2c



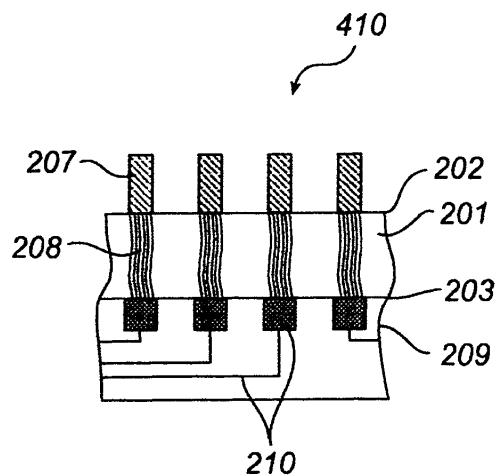
도면2d



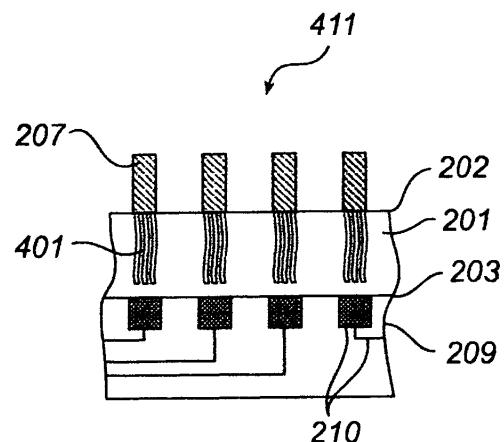
도면3



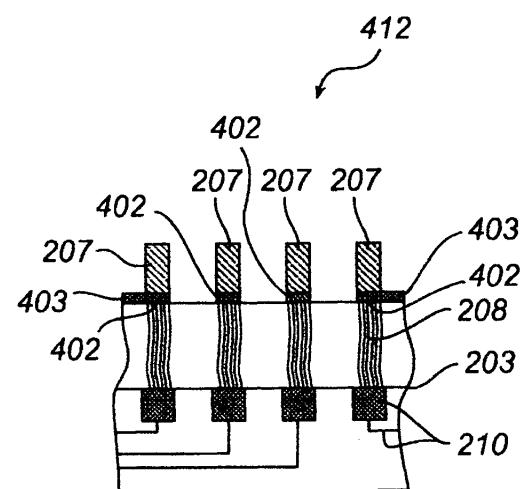
도면4a



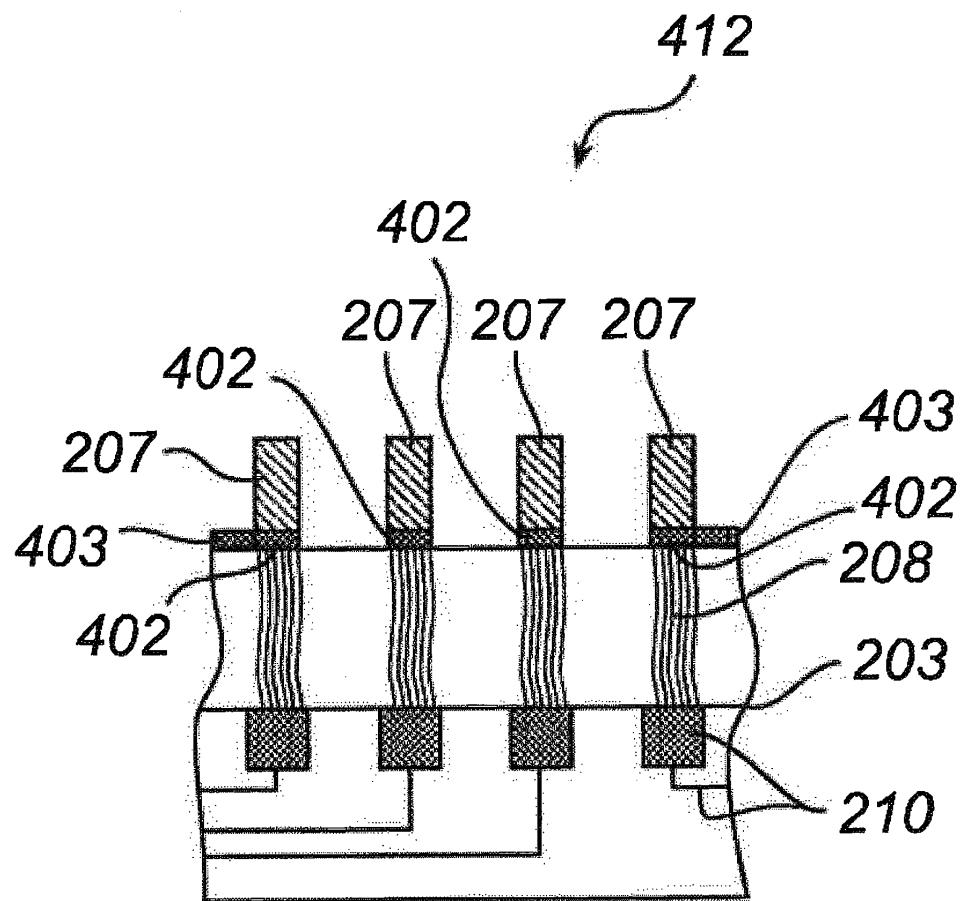
도면4b



도면4c

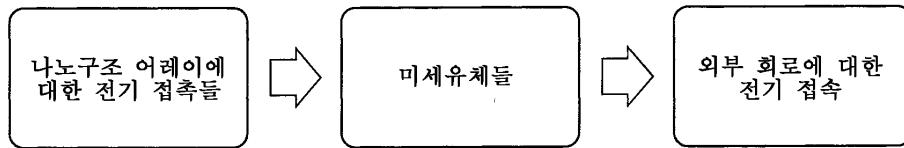


도면5

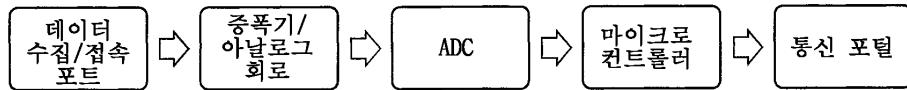


## 도면6

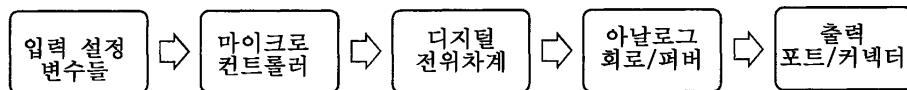
4401:



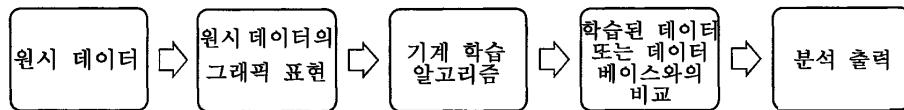
4402:



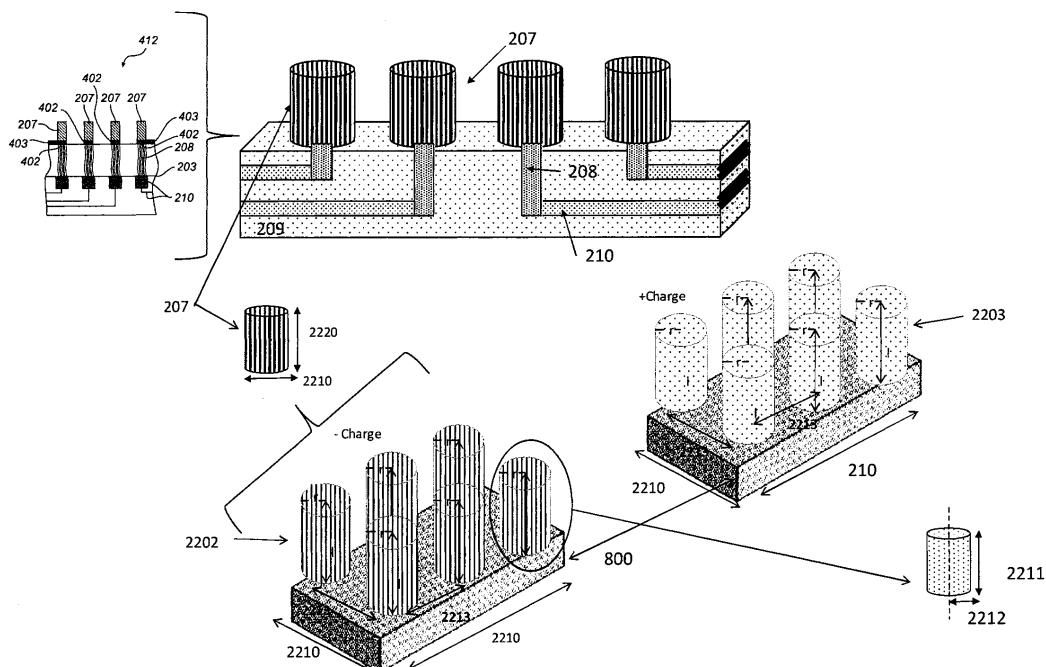
4402:



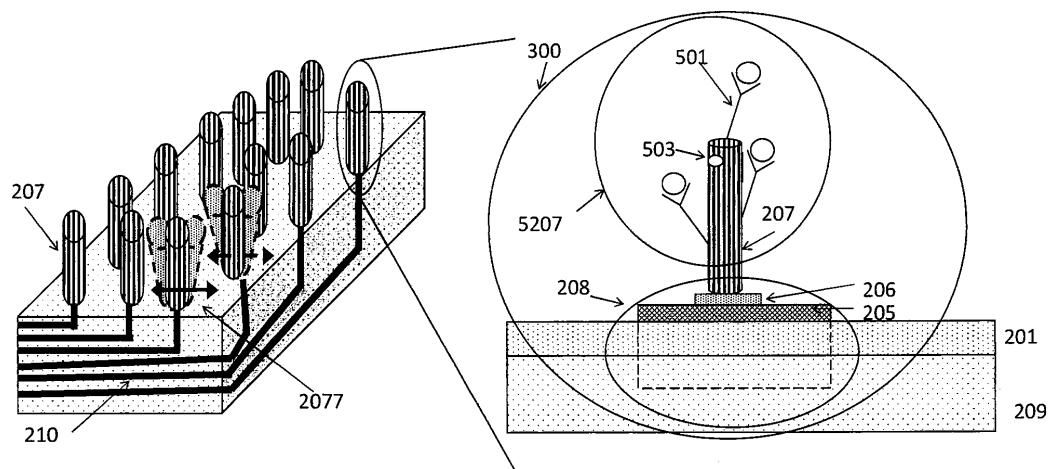
4403:



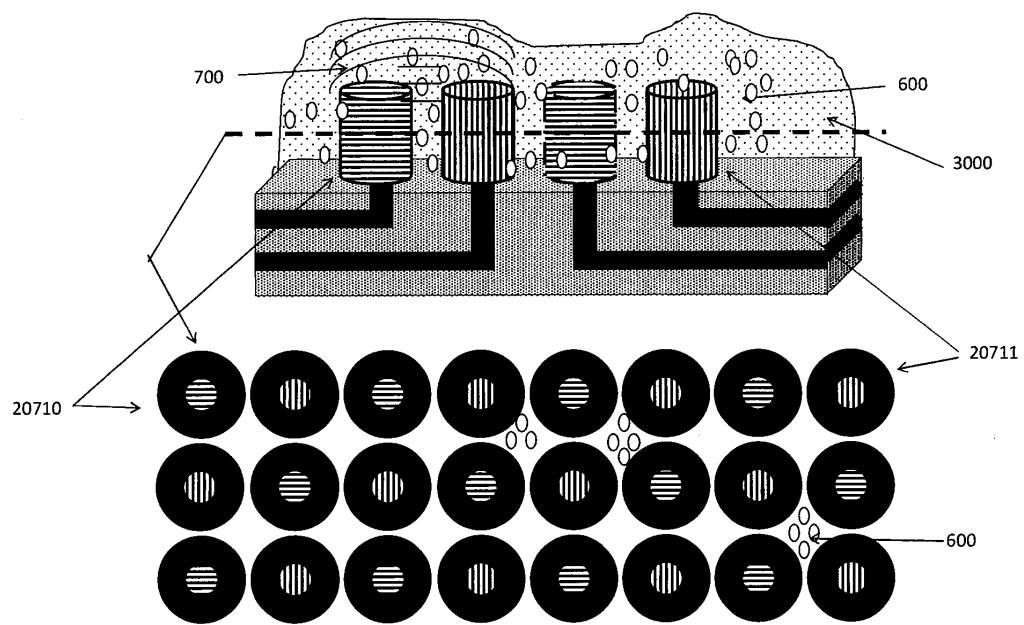
## 도면7



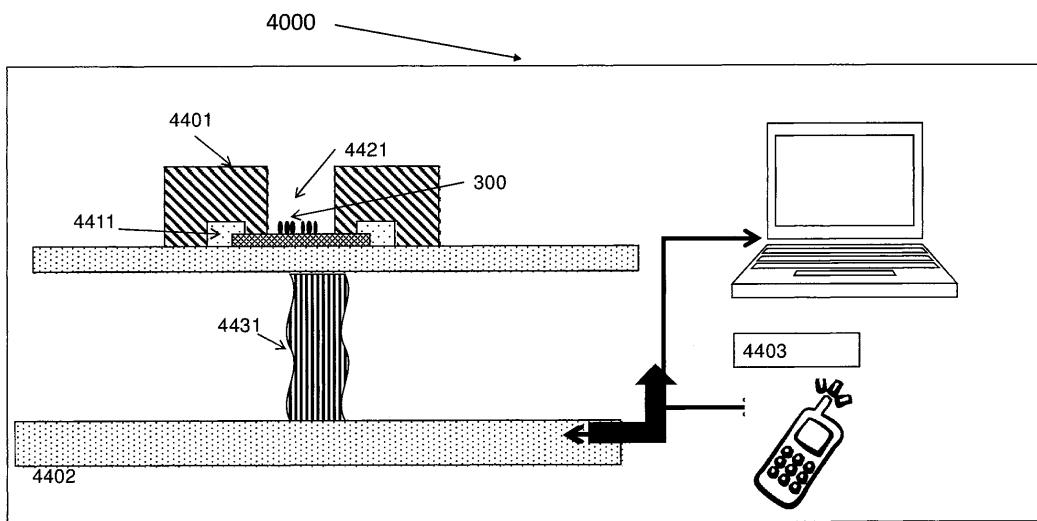
도면8



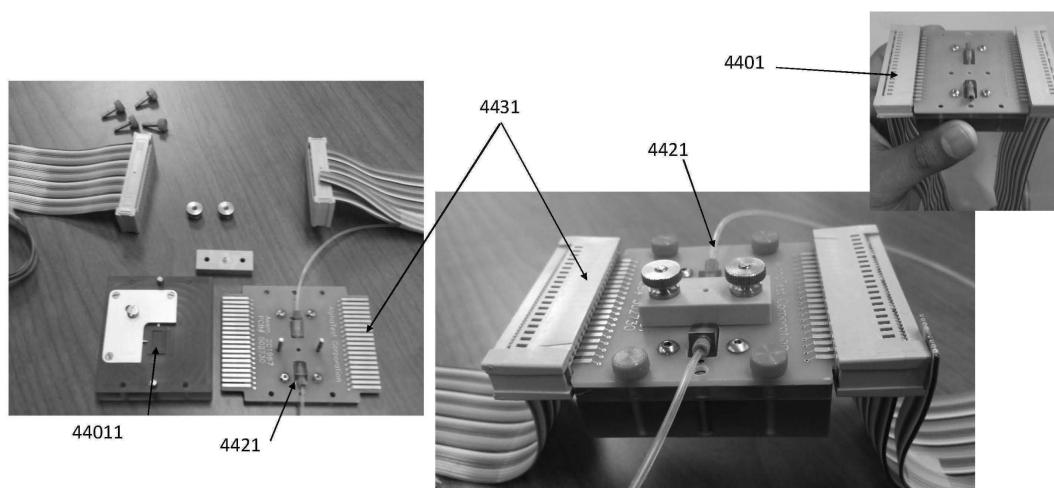
도면9



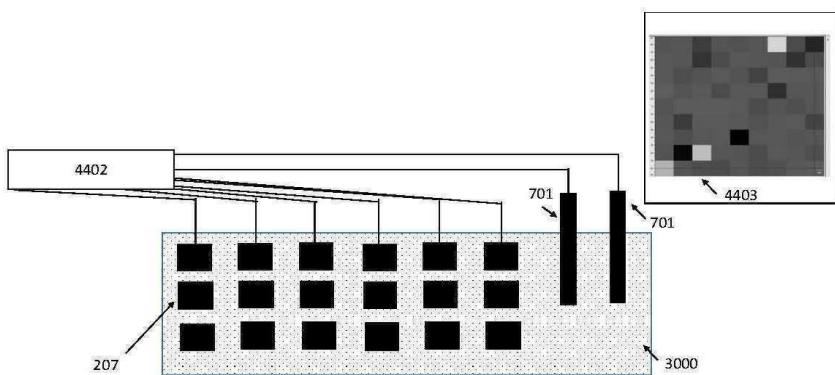
## 도면10



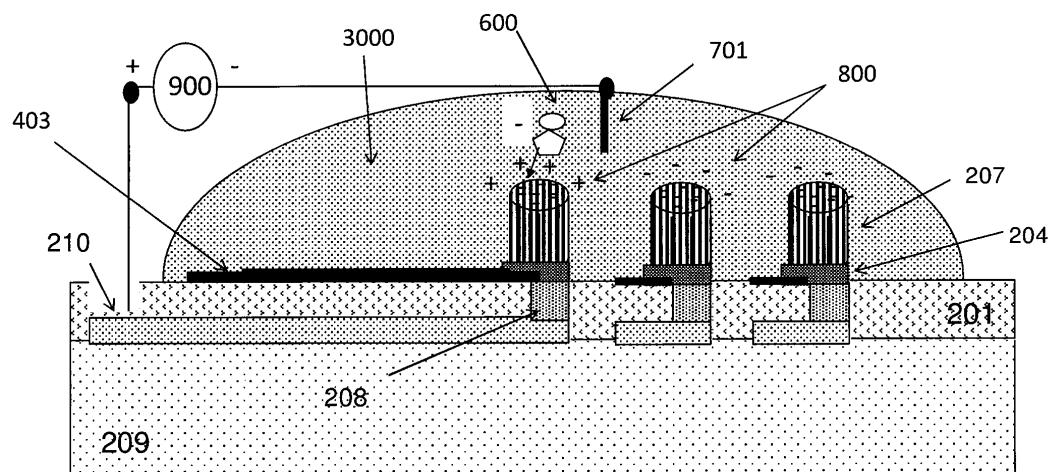
## 도면11



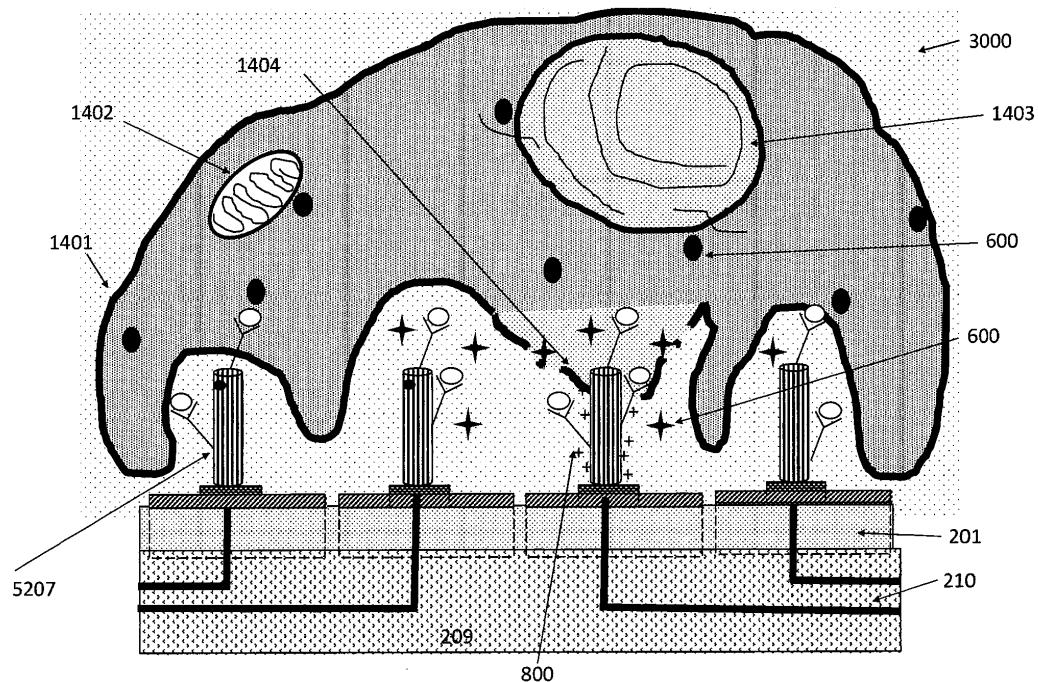
## 도면12



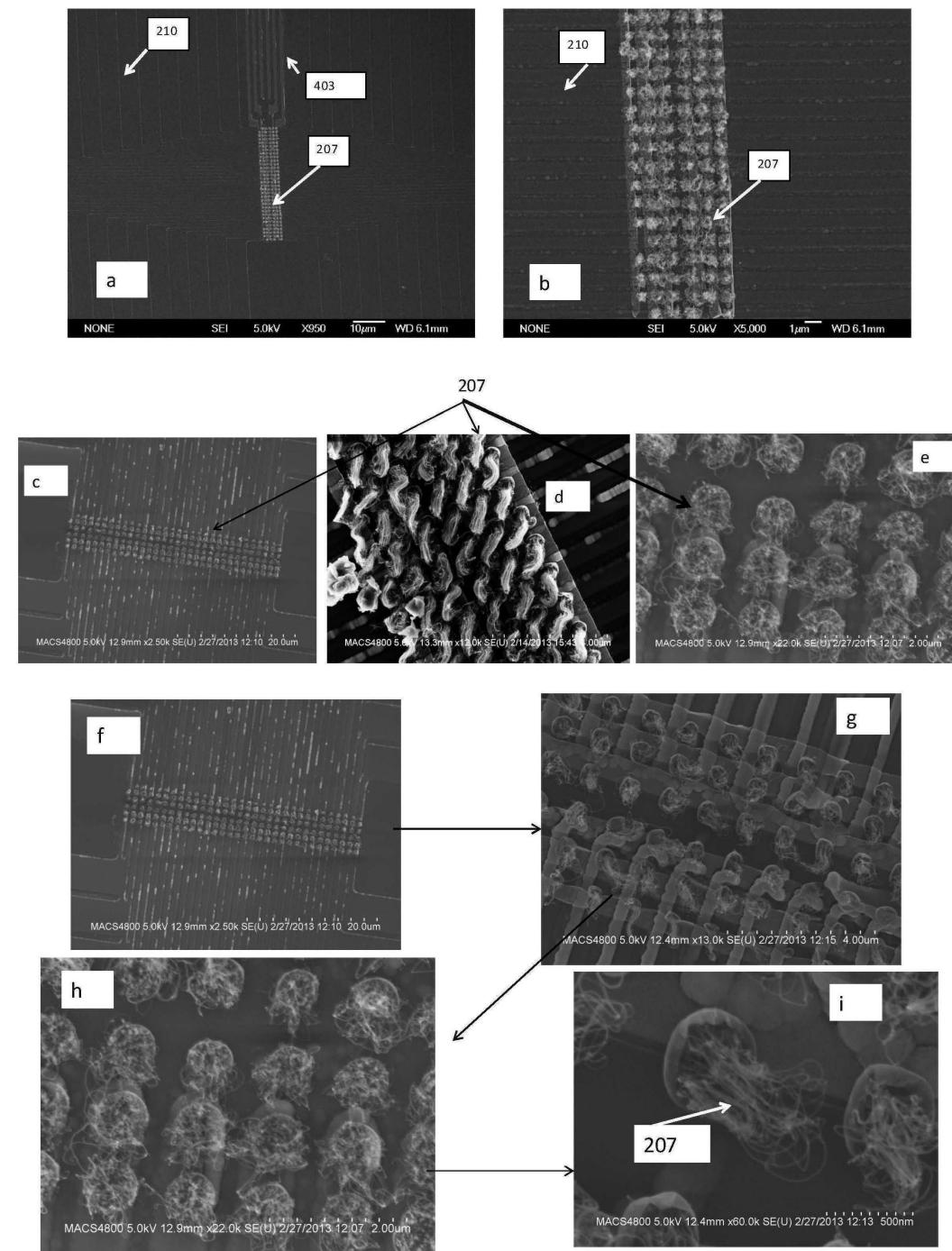
도면13



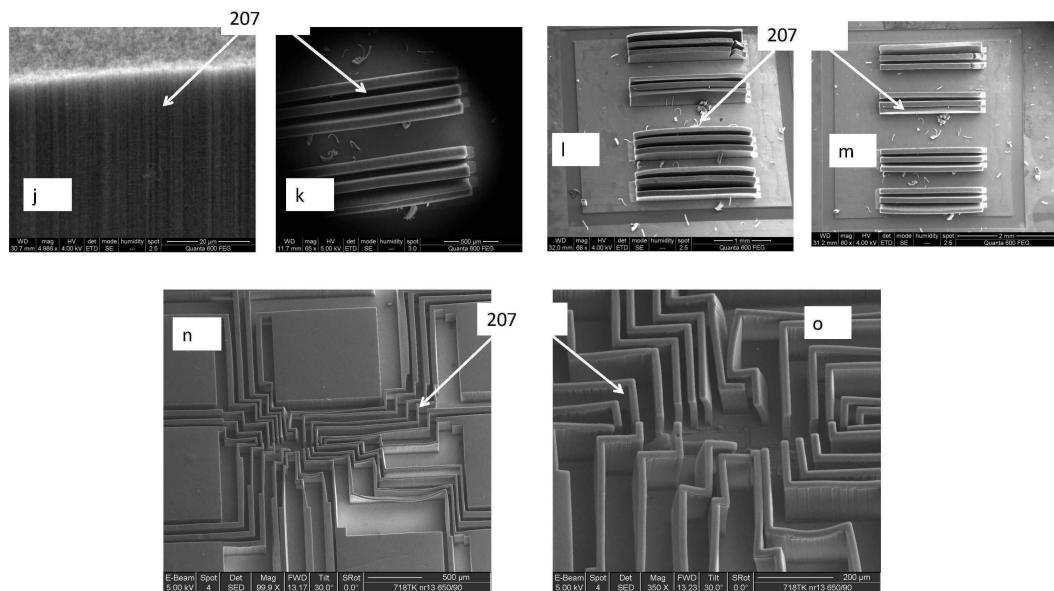
도면14



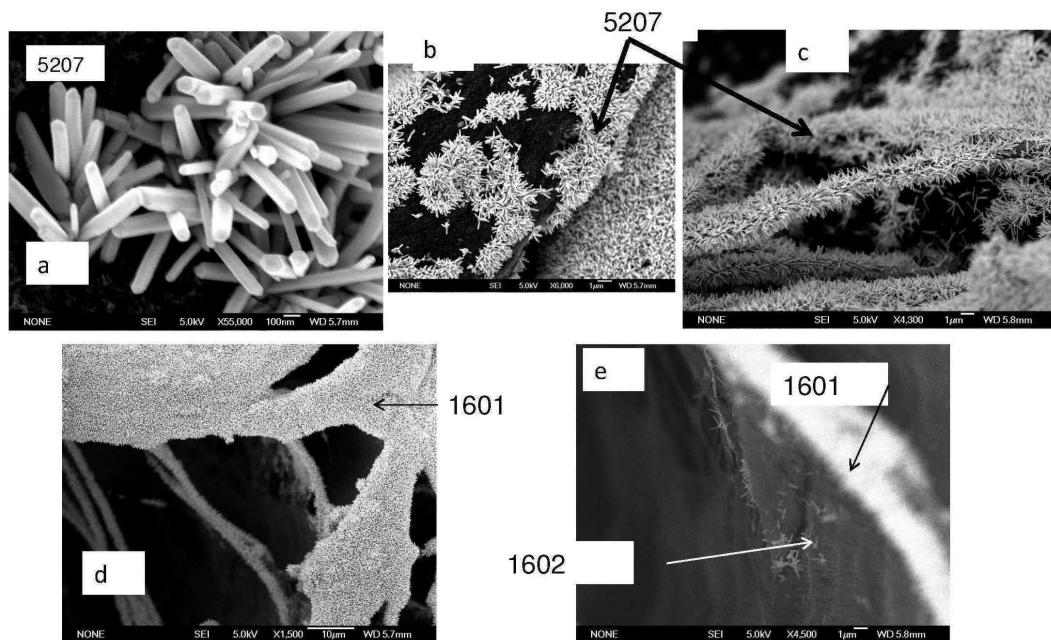
## 도면 15ai



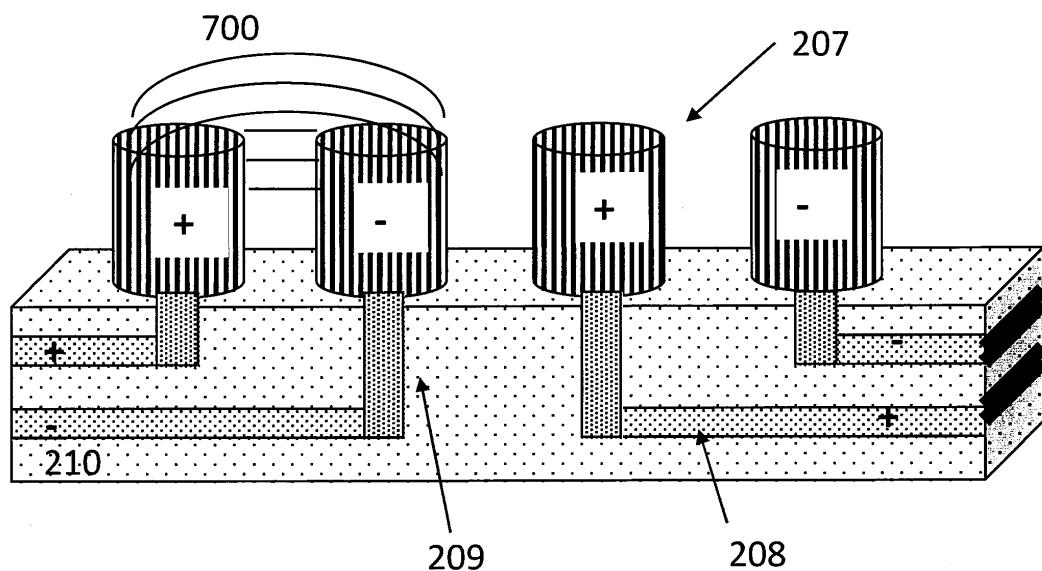
## 도면15jo



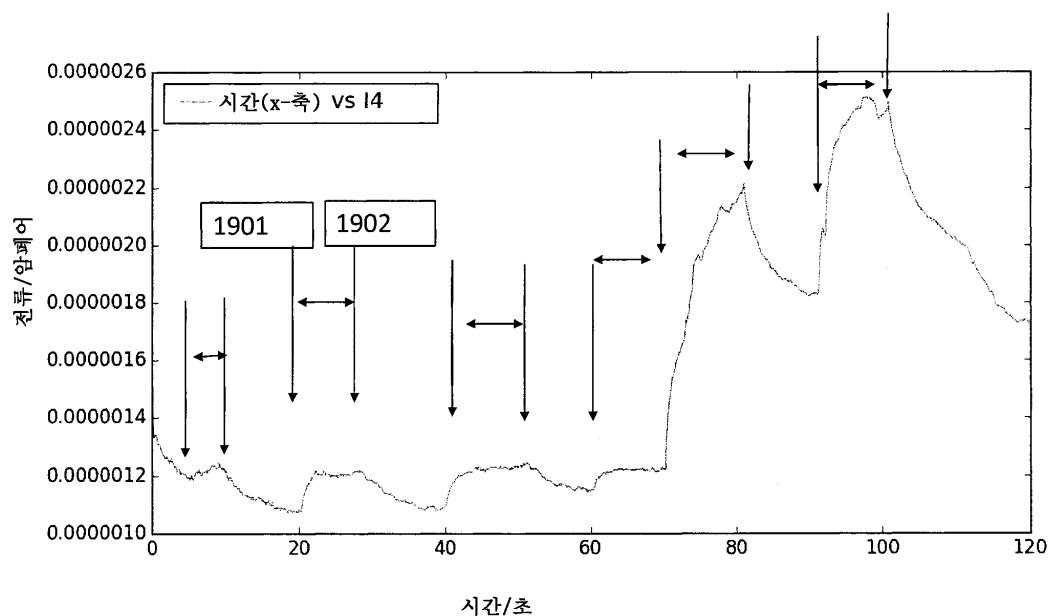
## 도면16



도면17



도면18



도면19

