

명세서

발명의 명칭: 그래핀 기반 센서, 이를 이용한 측정 장치, 검체의 측정 방법 및 분석 방법

기술분야

- [1] 본 개시는 그래핀 기반 센서, 이를 이용한 측정 장치, 검체의 측정 방법 및 분석 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 센서는 효소나, 항체, DNA 등 생물학적 물질을 검출하는 바이오 센서, 가스 등의 농도를 검출하는 가스 센서, 압력을 감지하는 압력 센서 등 다양한 종류가 존재한다. 이 중에서 바이오 센서는 크게 광학 방식, 전기 화학 방식, 압전 방식으로 구분된다. 광학 방식은 발색, 형광, 화학 발광, 표면 플라즈몬 공명 등의 광학적 방법을 이용하는 방식이고, 전기 화학 방식은 분석 물질과 바이오 수용체의 상호 작용을 전위, 전류, 전하량, 전도도, 임피던스 등과 같은 전기 화학 신호로 측정하는 방법이다. 압전 방식은 질량 변화를 측정하는 방법이다. 전기 화학 방식의 바이오 센서는 다른 방법에 비하여 휴대성 및 소형화 측면에서 장점이 있으며, 표지 및 비표지 방식이 모두 가능하고 검출 신호 또한 전기 신호이므로 광학적 방법에 비해 신호 변환 과정이 용이하다. 전기 화학 방식의 센서는 미세한 전기 신호의 변화를 정확하게 측정하기 위하여 트랜지스터 기반으로 구현될 수 있다.
- [3] 반도체를 대체할 수 있는 새로운 물질로 그래핀(graphene)이 활발히 연구되어 있다. 그래핀은 육각형 벌집 모양의 2차원 평면 결정 구조를 가지며, 얇고 가볍고 내구성과 전도성이 뛰어나 다양한 분야에서 활용되고 있다. 최근에는 그래핀을 활용하여 기능적으로는 트랜지스터이나 구조적으로는 다이오드에 가까운 새로운 소자 즉, 배리스터(barristor)가 등장하였다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 본 개시를 통해 해결하고자 하는 기술적 과제는, 검체에 의해 나타나는 미세한 전기 신호의 변화를 감지할 수 있는 그래핀 기반 센서를 제공하는 것이다.
- [5] 본 개시를 통해 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 그래핀 기반 센서를 이용한 측정 장치를 제공하는 것이다.
- [6] 본 개시를 통해 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 센서에 전압을 인가하여 검체를 측정하는 방법을 제공하는 것이다.
- [7] 본 개시를 통해 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 복수의 그래핀 기반 센서를 포함하는 센서 어레이의 측정값을 인공 신경망을 이용하여 분석하는 방법을 제공하는 것이다.

- [8] 본 개시의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 명세서의 기재로부터 본 개시의 기술분야에서의 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [9] 본 개시의 일 실시예에 따른 그래핀 기반 센서는, 기판, 상기 기판의 일부 영역에 불순물을 도핑하여 형성된 도핑영역, 상기 도핑영역의 일부를 제외하고 상기 기판 상에 적층된 부도체층, 상기 도핑영역 상에 적층되는 그래핀층, 상기 그래핀층에 연결된 제1 전극 및 상기 도핑영역에 연결된 제2 전극을 포함할 수 있다.
- [10] 일 실시예에서, 상기 도핑영역은, 제1 농도로 도핑된 제1 도핑영역 및 제2 농도로 도핑된 제2 도핑영역을 포함하고, 상기 제1 농도는 상기 제2 농도 이하이고, 상기 그래핀층은 상기 제1 도핑영역에 연결되고, 상기 제2 전극은 상기 제2 도핑영역에 연결될 수 있다.
- [11] 일 실시예에서, 상기 제1 전극은, 상기 그래핀층의 둘레를 감싸는 형태로 형성될 수 있다.
- [12] 일 실시예에서, 상기 제2 전극은, 상기 그래핀층과 마주보는 상기 기판의 아래쪽에 위치할 수 있다.
- [13] 일 실시예에서, 상기 제1 전극과 이격된 위치에서 상기 부도체층 및 상기 기판을 관통하여 형성된 하나 이상의 비아전극을 더 포함하고, 상기 제2 전극은 상기 하나 이상의 비아전극과 연결될 수 있다.
- [14] 일 실시예에서, 상기 제2 전극은, 상기 부도체층을 관통하여 상기 도핑영역과 연결될 수 있다.
- [15] 일 실시예에서, 상기 제1 전극과 이격된 위치에서 상기 그래핀층에 접한 제3 전극을 더 포함할 수 있다.
- [16] 일 실시예에서, 상기 기판을 제1 깊이 및 제1 너비로 식각하여 형성된 저장부 및 상기 부도체층을 제2 깊이 및 제2 너비로 식각하여 형성된, 상기 저장부와 상기 그래핀층 사이를 연결하는 채널부를 더 포함하고, 상기 제2 깊이 및 상기 제2 너비는 각각 상기 제1 깊이 및 상기 제1 너비보다 작을 수 있다.
- [17] 일 실시예에서, 복수 개의 도핑영역이 상기 기판 상에 이격되어 배치되고, 상기 부도체층은 복수 개의 도핑영역이 각각 노출되도록 적층될 수 있다.
- [18] 일 실시예에서, 상기 그래핀층은 상기 복수 개의 도핑영역에 대응되도록 적층되고, 상기 복수 개의 도핑영역에 각각 대응되는 복수 개의 제1 전극을 포함하고, 상기 제2 전극은 상기 복수 개의 도핑영역에 공통으로 연결될 수 있다.
- [19] 일 실시예에서, 상기 그래핀층은 상기 복수 개의 도핑영역에 걸쳐 적층되고, 상기 복수 개의 도핑영역에 각각 연결되는 복수 개의 제2 전극을 포함하고, 상기 제1 전극은 상기 복수 개의 도핑영역에 공통으로 연결될 수 있다.
- [20] 일 실시예에서, 상기 복수 개의 도핑영역의 그래핀층을 통해 측정된 값을 출력하는 멀티플렉서를 더 포함할 수 있다.

- [21] 일 실시예에서, 상기 그래핀층의 표면에 위치하며, 상기 그래핀층에 전하를 유도하는 물질을 포함하는 반응층을 더 포함할 수 있다.
- [22] 본 개시의 다른 일 실시예에 따른 그래핀 기반 센서는, 기판, 상기 기판에 적층된 2차원 반도체층, 상기 2차원 반도체층에 걸쳐 적층된 그래핀층, 상기 2차원 반도체층에 접하여 적층된 제1 전극 및 상기 그래핀층에 접하여 적층된 제2 전극을 포함할 수 있다.
- [23] 다른 일 실시예에서, 상기 그래핀층의 표면에 위치하며, 상기 그래핀층에 전하를 유도하는 물질을 포함하는 반응층을 포함할 수 있다.
- [24] 다른 일 실시예에서, 복수 개의 2차원 반도체층이 상기 기판 상에 이격되어 배치되고, 상기 그래핀층은 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 걸쳐 적층되고, 복수 개의 제1 전극은 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 각각 위치할 수 있다.
- [25] 다른 일 실시예에서, 상기 복수 개의 2차원 반도체층을 구성하는 2차원 물질 중 일부와 다른 일부는 서로 상이할 수 있다.
- [26] 다른 일 실시예에서, 상기 복수 개의 2차원 반도체층은 제1 방향으로 배치되고, 상기 그래핀층은 상기 제1 방향과 수직인 제2 방향으로 배치될 수 있다.
- [27] 다른 일 실시예에서, 상기 제1 전극과 이격되어 상기 2차원 반도체층과 접하여 적층된 제3 전극을 더 포함할 수 있다.
- [28] 다른 일 실시예에서, 상기 제2 전극과 이격되어 상기 그래핀층과 접하여 적층된 제4 전극을 더 포함할 수 있다.
- [29] 다른 일 실시예에서, 복수 개의 2차원 반도체층이 방사형으로 배치되고, 상기 그래핀층은 원형의 띠 모양으로 상기 복수 개의 2차원 반도체층을 가로 질러 배치되고, 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 공통으로 연결된 제3 전극을 더 포함하고, 복수 개의 제1 전극은 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 각각 연결될 수 있다.
- [30] 본 개시의 또 다른 일 실시예에 따른 측정 장치는, 기판에 형성된 도핑영역 또는 기판에 적층된 2차원 반도체층 상에 그래핀층을 적층한 그래핀 기반 센서 및 상기 그래핀 기반 센서의 출력 전류를 전압으로 변환하여 출력하는 출력부를 포함할 수 있다.
- [31] 또 다른 일 실시예에서, 상기 출력부는, 상기 그래핀 기반 센서의 출력 전류를 전압으로 변환하여 출력하는 전치증폭부 및 상기 전치증폭부의 출력 전압을 일정 범위로 조정하는 피드백부를 포함할 수 있다.
- [32] 또 다른 일 실시예에서, 상기 출력부의 출력 전압을 표시하는 표시부 및 상기 출력부의 출력 전압을 외부로 전송하는 통신부를 더 포함할 수 있다.
- [33] 또 다른 일 실시예에서, 상기 그래핀 기반 센서를 1차원 또는 2차원으로 배열한 센서 어레이 및 상기 센서 어레이를 구성하는 복수 개의 그래핀 기반 센서와 연결된 멀티플렉서를 포함하고, 상기 출력부는 상기 멀티플렉서를 통해 각 그래핀 기반 센서의 출력 전류를 선택적으로 입력 받을 수 있다.

- [34] 또 다른 일 실시예에서, 검체가 상기 그래핀 기반 센서의 반응층의 물질과 반응하여 나타나는 측정값을 입력 받아 분석값을 출력하는 인공 신경망에 대응되는 매핑 테이블 셋이 구현된 내부 회로를 더 포함할 수 있다.
- [35] 또 다른 일 실시예에서, 그래핀 기반 센서에 기 정의된 일정 범위 내에서 전압을 인가하는 전압 인가부 및 검체의 인가 전에 전압의 인가에 따른 상기 그래핀 기반 센서의 저항 또는 전류의 제1 측정값을 파악하고, 검체의 인가 후에 전압의 인가에 따른 상기 그래핀 기반 센서의 저항 또는 전류의 제2 측정값을 파악하여 출력하는 측정부를 더 포함할 수 있다.
- [36] 또 다른 일 실시예에서, 상기 측정부는, 상기 제1 측정값과 상기 제2 측정값 사이의 전압 별 차이 중 최대 차이를 포함하는 결과값을 출력할 수 있다.
- [37] 또 다른 일 실시예에서, 상기 측정부는, 일정 시간 간격으로 상기 제2 측정값을 측정하는 과정을 반복 수행하고, 반복 수행 시마다 전압의 인가에 따른 센서의 저항 또는 전류의 제2 측정값을 출력할 수 있다.
- [38] 또 다른 일 실시예에서, 상기 측정부는, 상기 반복 수행 시마다 상기 제1 측정값과 상기 제2 측정값 사이의 최대 차이의 변화를 파악하여 출력할 수 있다.
- [39] 본 개시의 또 다른 일 실시예에 따른 분석 방법은, 기판에 도핑된 반도체 영역 또는 2차원 반도체 상에 그래핀 층을 적층한 복수 개의 센서들을 포함하는 센서 어레이를 이용하는 분석 방법에 있어서, 상기 센서 어레이의 복수의 그래핀 기반 센서로부터 복수의 측정값을 수신하는 단계 및 인공 신경망에 상기 복수의 측정값을 수신하여, 매핑 테이블 셋에 결정된 연산을 이용하여 분석 결과를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [40] 또 다른 일 실시예에서, 상기 복수의 그래핀 기반 센서의 그래핀층 상에 도포된 반응층의 물질은 일부가 다른 일부와 서로 상이한 것일 수 있다.
- [41] 또 다른 일 실시예에서, 상기 복수의 그래핀 기반 센서의 반응층의 물질은, 양자점, 바이오 분자, 가스에 반응하는 분자 및 압력에 반응하는 구조물 중 적어도 하나일 수 있다.

발명의 효과

- [42] 본 개시에 따르면, 그래핀 기반 센서는 일반 센서에 비해 반응 민감도가 크므로 항원-항체, 효소, DNA 등의 상호 작용에 따른 미세한 전기 신호의 변화를 정확하게 측정할 수 있다. 또한 그래핀 기반 센서는 바이오 분야뿐만 아니라 빛이나 가스, 압력 등을 측정하는 다양한 분야에 적용 가능하다.
- [43] 본 개시에 따르면, 센서를 이용하여 검체를 정확하게 측정할 수 있다. 검체의 인가 전후의 센서의 측정값의 차이를 기반으로 측정의 정확성을 높일 수 있다.
- [44] 본 개시에 따르면, 그래핀 기반 센서를 이용하여 검체의 측정 민감도를 향상시킬 수 있다.

- [45] 본 개시의 기술적 사상에 따른 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 명세서의 기재로부터 본 개시의 기술분야에서의 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [46] 도 1a 내지 도 1d는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제1 실시예의 구조를 도시한다.
- [47] 도 2a 내지 도 2d는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제2 실시예의 구조를 도시한다.
- [48] 도 3a 내지 도 3b는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제3 실시예의 구조를 도시한다.
- [49] 도 4a 내지 도 4b는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제4 실시예의 구조를 도시한다.
- [50] 도 5는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제5 실시예의 구조를 도시한다.
- [51] 도 6a 내지 도 6b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제1 실시예의 구조를 도시한다.
- [52] 도 7a 내지 도 7d는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제2 실시예의 구조를 도시한다.
- [53] 도 8a 내지 도 8d는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제3 실시예의 구조를 도시한다.
- [54] 도 9a 내지 도 9b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제4 실시예의 구조를 도시한다.
- [55] 도 10a 내지 도 10b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제5 실시예의 구조를 도시한다.
- [56] 도 11a 내지 도 11b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제6 실시예의 구조를 도시한다.
- [57] 도 12는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제7 실시예의 구조를 도시한다.
- [58] 도 13a 내지 도 13b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제8 실시예의 구조를 도시한다.
- [59] 도 14는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제9 실시예의 구조를 도시한다.
- [60] 도 15는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제10 실시예의 구조를 도시한다.
- [61] 도 16a 내지 도 16b는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 전류 변화의 일례를 도시한다.
- [62] 도 17 및 도 18은 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서를 이용한 측정 장치의 다양한 예시를 도시한다.
- [63] 도 19는 본 개시에 따른 측정 장치의 피드백부 및 제어부의 상세 구성의 일례를 도시한다.

- [64] 도 20 내지 도 26은 본 개시에 따른 센서 어레이를 이용한 측정 장치의 다양한 예시를 도시한다.
- [65] 도 27은 본 개시에 따른 측정 장치의 블록도를 도시한다.
- [66] 도 28 내지 도 29는 본 개시에 따른 측정 장치의 구현 예시를 도시한다.
- [67] 도 30은 본 개시에 따른 검체의 측정 방법을 나타내는 순서도를 도시한다.
- [68] 도 31은 본 개시의 다양한 실시예에서 참조될 수 있는 버퍼 용액의 인가 방법의 일례를 도시한다.
- [69] 도 32는 본 개시에 따른 검체의 측정 방법의 일례를 도시한다.
- [70] 도 33은 본 개시의 다양한 실시예에서 참조될 수 있는 측정 결과의 일례를 도시한다.
- [71] 도 34는 본 개시에 따른 측정 장치의 사용 예시를 도시한다.
- [72] 도 35는 본 개시에 따른 측정 결과를 분석하는 방법의 일례를 도시한다.
- [73] 도 36은 본 개시의 다양한 실시예에서 참조될 수 있는 인공 신경망의 일례를 도시한다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [74] 본 개시에 기재된 다양한 실시예는, 본 개시의 기술적 사상을 명확히 설명하기 위한 목적으로 예시된 것이며, 이를 특정한 실시 형태로 한정하려는 것이 아니다. 본 개시의 기술적 사상은, 본 개시에 기재된 각 실시예의 다양한 변경(modifications), 균등물(equivalents), 대체물(alternatives) 및 각 실시예의 전부 또는 일부로부터 선택적으로 조합된 실시예를 포함한다. 또한 본 개시의 기술적 사상의 권리범위는 이하에 제시되는 다양한 실시예나 이에 대한 구체적 설명으로 한정되지 않는다.
- [75] 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서, 본 개시에서 사용되는 용어들은, 달리 정의되지 않는 한, 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 일반적으로 이해되는 의미를 가질 수 있다.
- [76] 본 개시에서 사용되는 "포함한다", "포함할 수 있다", "구비한다", "구비할 수 있다", "가진다", "가질 수 있다" 등과 같은 표현들은, 대상이 되는 특징(예: 기능, 동작 또는 구성요소 등)이 존재함을 의미하며, 다른 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다. 즉, 이와 같은 표현들은 다른 실시예를 포함할 가능성을 내포하는 개방형 용어(open-ended terms)로 이해되어야 한다.
- [77] 본 개시에서 사용되는 단수형의 표현은, 문맥상 다르게 뜻하지 않는 한 복수형의 의미를 포함할 수 있으며, 이는 청구항에 기재된 단수형의 표현에도 마찬가지로 적용된다.
- [78] 본 개시에서 사용되는 "제1", "제2", 또는 "첫째", "둘째" 등의 표현은, 문맥상 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 동종 대상들을 지칭함에 있어 한 대상을 다른 대상과 구분하기 위해 사용되며, 대상들 간의 순서 또는 중요도를 한정하는 것은 아니다.

- [79] 본 개시에서 사용되는 "A, B 및 C," "A, B 또는 C," "A, B 및 C 중 적어도 하나" 또는 "A, B 또는 C 중 적어도 하나" 등의 표현은, 각각의 나열된 항목 또는 나열된 항목들의 가능한 모든 조합들을 의미할 수 있다. 예를 들어, "A 또는 B 중 적어도 하나"는, (1) 적어도 하나의 A, (2) 적어도 하나의 B, (3) 적어도 하나의 A 및 적어도 하나의 B를 모두 지칭할 수 있다.
- [80] 본 개시에서 사용되는 "~에 기초하여"라는 표현은, 이 표현이 포함되는 어구 또는 문장에서 기술되는, 결정, 판단의 행위 또는 동작에 영향을 주는 하나 이상의 인자를 기술하는 데에 사용되고, 이 표현은 그 결정, 판단의 행위 또는 동작에 영향을 주는 추가적인 인자를 배제하지 않는다.
- [81] 본 개시에서 사용되는, 어떤 구성요소(예: 제1 구성요소)가 다른 구성요소(예: 제2 구성요소)에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다는 표현은, 상기 어떤 구성요소가 상기 다른 구성요소에 직접적으로 연결 또는 접속되는 것뿐 아니라, 새로운 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 매개로 하여 연결 또는 접속되는 것을 의미할 수 있다.
- [82] 본 개시에서 사용된 표현 "~하도록 구성된(configured to)"은 문맥에 따라, "~하도록 설정된", "~하는 능력을 가지는", "~하도록 변경된", "~하도록 만들어진", "~를 할 수 있는" 등의 의미를 가질 수 있다. 이 표현은, "하드웨어적으로 특별히 설계된"의 의미로 제한되지 않으며, 예를 들어 특정 동작을 수행하도록 구성된 프로세서란, 소프트웨어를 실행함으로써 그 특정 동작을 수행할 수 있는 범용 프로세서(generic purpose processor)를 의미하거나, 그 특정 동작을 수행하도록 프로그래밍을 통해 구조화된 특수 목적 컴퓨터(special purpose computer)를 의미할 수 있다.
- [83] 본 개시에서 사용되는 용어 "부"는, 소프트웨어, 또는 FPGA(Field-Programmable Gate Array), ASIC(Application Specific Integrated Circuit)과 같은 하드웨어 구성요소를 의미한다. 그러나, "부"는 하드웨어 및 소프트웨어에 한정되는 것은 아니고, "부"는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고, 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, "부"가 의미할 수 있는 예시들로서, "부"는 소프트웨어 구성요소들, 객체 지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세서, 함수, 속성, 프로시저, 서브루틴, 프로그램 코드의 세그먼트, 드라이버, 펌웨어, 마이크로코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조, 테이블, 어레이 및 변수를 포함한다. 또한, 구성요소와 "부" 내에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소 및 "부"로 결합되거나 추가적인 구성요소와 "부"로 더 분리될 수 있다.
- [84] 본 개시에서 사용되는 용어 "인공 지능(AI, Artificial Intelligence)"은, 인간의 학습 능력, 추론 능력 또는 지각 능력을 모방하고, 이를 컴퓨터로 구현하는 기술을 의미할 수 있다. 구체적으로, 인공 지능은 입력 데이터를 분석하고 그 분석의 결과에 기초한 출력 데이터를 생성함으로써, 입력 데이터에 기초한 판단이나 예측을 수행할 수 있다. 또한, 인공 지능은 인간 두뇌의 인지 또는 판단의 기능(예: 언

어적 이해, 시각적 이해, 추론/예측, 지식 표현 또는 동작 제어 등)을 모사하는 기술들을 수행할 수 있다. 일 실시예에서, 인공지능은 기계 학습 또는 심볼릭 로직의 개념을 포함할 수 있다.

- [85] 본 개시에서 사용되는 용어 "기계 학습(ML, Machine Learning)"은, 데이터를 처리한 경험을 이용하여 인공 신경망 모델을 훈련시키는 일련의 처리를 의미할 수 있다. 이러한 기계 학습을 통해 인공 신경망 모델은 데이터 처리 능력이 향상될 수 있다.
- [86] 본 개시에서 사용되는 용어 "인공 신경망 모델"은, 데이터 사이의 상관 관계를 모델링하여 구축된 것으로서, 그 상관 관계는 복수의 파라미터에 의해 표현될 수 있다. 이러한 인공 신경망 모델은 인간의 뇌 구조, 예를 들어, 인간의 신경망의 뉴런(neuron)을 모의하며 가중치를 가지는 복수의 네트워크 노드를 포함하도록 컴퓨터 상에서 구현될 수 있다. 이 인공 신경망 모델은 주어진 학습 데이터로부터 특징들을 추출하고, 추출된 특징들을 분석하여 데이터 사이의 상관 관계를 도출하는 일련의 동작을 반복함으로써, 인공 신경망 모델의 파라미터를 최적화할 수 있다. 이렇게 인공 신경망 모델의 파라미터를 최적화 해 나가는 것을 기계 학습이라 지칭할 수 있다. 구체적인 예를 들어, 인공 신경망 모델은 입출력 쌍으로 주어지는 데이터에 대하여, 입력과 출력 사이의 매핑(상관 관계)을 학습할 수 있고, 이를 지도 학습(supervised learning)이라 지칭할 수 있다. 다른 예를 들어, 인공 신경망 모델은 입력 데이터만 주어지는 경우에도 주어진 데이터 사이의 규칙성을 도출하여 그 관계를 학습할 수 있고, 이를 비지도 학습(unsupervised learning)이라 지칭할 수 있다. 본 개시에서 인공 신경망 모델은 "인공 신경망", "모델", "신경망 모델", "인공 지능 학습 모델" 또는 "기계 학습 모델"로 상호 교환적으로 지칭될 수 있다.
- [87] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여, 본 개시에 기재된 다양한 실시예를 설명한다. 첨부된 도면 및 도면에 대한 설명에서, 동일하거나 실질적으로 동등한(substantially equivalent) 구성요소에는 동일한 참조부호가 부여될 수 있다. 또한, 이하 다양한 실시예의 설명에서, 동일하거나 대응하는 구성요소를 중복하여 기술하는 것이 생략될 수 있으나, 이는 그 구성요소가 그 실시예에 포함되지 않는 것을 의미하지는 않는다.
- [88] 도 1a 내지 도 1d는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제1 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 1a는 그래핀 기반 센서의 제1 실시예의 사시도이고, 도 1b는 그래핀 기반 센서의 제1 실시예의 평면도이고, 도 1c는 그래핀 기반 센서의 제1 실시예의 도 1a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이고, 도 1d는 그래핀 기반 센서의 제1 실시예의 도 1a에 도시된 B-B'선을 따른 단면도이다. 용어 "도 1"은 도 1a 내지 도 1d 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [89] 도 1을 참조하면, 그래핀 기반 센서는 기관(100), 부도체층(110), 그래핀층(120), 제1 전극(130), 제2 전극(140) 및 도핑영역(160)을 포함한다.

- [90] 기판(100)에는 불순물을 도핑하여 형성된 도핑영역(160)이 존재한다. 일 실시예로, 기판은 실리콘, 저마늄 또는 화합물 반도체 등 일반 반도체 물질로 구성된 반도체층일 수 있다. 도핑영역(160)은 n형 또는 p형으로 도핑될 수 있다. 일 실시예로, 도핑영역(160)은 도핑 농도가 서로 다른 두 영역(150, 155)으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 도핑영역(160)은 제1 농도(예: $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)로 도핑된 제1 도핑영역(150)과 제2 농도($\geq$ 제1 농도)(예: $10^{19}/\text{cm}^3$ 이상)로 도핑된 제2 도핑영역(155)을 포함할 수 있다. 다른 실시예로, 도핑영역(160) 전체는 동일한 농도로 도핑될 수 있다. 다만, 이하에서는 설명의 편의를 위하여 서로 다른 농도로 도핑된 두 영역(150, 155)을 포함하는 도핑영역(160)을 도시하여 설명한다. 도핑영역(160)의 면적 및 깊이 각각은 다양한 변형이 가능할 수 있다.
- [91] 부도체층(110)은 도핑영역(160)의 일부를 제외하고 기판(100) 상에 형성된다. 예를 들어, 제1 도핑영역(150)의 일부 또는 전체의 위쪽에는 부도체층(110)이 존재하지 않고 기판(100) 상에 노출된다. 일 실시예로, 부도체층(110)은 실리콘 산화물, 하프늄 산화물 또는 알루미늄 산화물 등 다양한 산화물로 구성될 수 있다.
- [92] 그래핀으로 구성되는 그래핀층(120)은 도핑영역(160) 중 부도체층(110)에 의해 가려지지 않은 도핑영역(160) 상에 적층된다. 예를 들어, 그래핀층(120)은 부도체층(110) 및 도핑영역(160)에 걸쳐 적층되는 구조일 수 있다.
- [93] 제1 전극(130)은 그래핀층(120)에 연결된다. 제2 전극(140)은 기판(100)의 아래에서 도핑영역(160)과 연결된다. 다른 실시예로, 기판(100)의 상면에는 기판 하면의 제2 전극(140)과 연결되는 비아전극(170)을 더 포함할 수 있다. 비아전극(170)은 부도체층(110) 및 기판(100)을 관통하여 기판(100) 아래의 제2 전극(140)과 연결될 수 있다. 본 실시예의 제1 전극(130) 및 제2 전극(140)의 연결 구조는 본 발명의 이해를 돕기 위한 하나의 예시일 뿐, 본 개시의 범위가 본 실시예로 한정되는 것은 아니다. 제1 전극(130) 및 제2 전극(140)의 다양한 연결 구조의 예시는 후속하는 도 2 내지 도 5에 도시되어 있다.
- [94] 그래핀층(120)의 표면에 검체와 반응하는 물질 또는 압력을 감지하는 구조물로 형성된 반응층(180)을 더 포함할 수 있다. 검체(예: 빛, 바이오물질, 가스 등)의 종류에 따라 반응층을 구성하는 물질의 종류는 다양할 수 있다. 예를 들어, 바이오물질(DNA, 항원, 항체 또는 효소 등), 양자점(예를 들어, 황화납 양자점) 또는 고분자 필름 등을 그래핀층(120)에 도포하여 반응층(180)을 형성하거나, 압력을 측정하는 구조물로 구성된 반응층(180)을 그래핀층(120)에 적층할 수 있다. 다른 실시예로, 반응층(180)은 여러 물질이나 여러 층으로 구성될 수 있다. 그래핀층(120)의 표면에 위치한 반응층(180)의 물질 종류에 따라, 본 실시예의 그래핀 기반 센서는 빛을 감지하는 광학 센서, 바이오 물질을 검출하는 바이오 센서, 가스나 온도, 습도 등을 검출하는 환경 센서 등 다양한 형태로 사용될 수 있다.
- [95] 도 2a 내지 도 2d는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제2 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 2a는 그래핀 기반 센서의 제2 실시예의 사시도이고, 도 2b는 그래핀 기반 센서의 제2 실시예의 평면도이고, 도 2c는 그래핀 기반 센서의 제

2 실시예의 도 2a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이고, 도 2d는 그래핀 기반 센서의 제2 실시예의 도 2a에 도시된 B-B'선을 따른 단면도이다. 용어 "도 2"는 도 2a 내지 도 2d 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.

- [96] 도 2를 참조하면, 그래핀 기반 센서는 기관(200), 부도체층(210), 그래핀층(220), 제1 전극(230), 제2 전극(240) 및 도핑영역(260)을 포함한다. 기관 (200), 부도체층 (210), 그래핀층(220), 제1 전극(230)은 도 1의 구조와 동일하다. 도핑영역(260)의 깊이와 면적은 도 1의 제1 실시예와 동일하거나 그 중 일부가 변형될 수 있다.
- [97] 제1 전극(230)은 도 1의 제1 실시예와 동일하나, 제2 전극(240)은 도 1의 제1 실시예와 상이하다. 제2 전극(240)은 제1 전극(230)과 이격된 위치에 형성되고, 부도체층(210) 및 기관(200)을 관통하여 도핑영역(260)(예: 제1 도핑영역(250) 및/또는 제2 도핑영역(255))과 연결된다.
- [98] 도 3a 내지 도 3b는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제3 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 3a는 그래핀 기반 센서의 제3 실시예의 평면도이고, 도 3b는 그래핀 기반 센서의 제3 실시예의 단면도이다. 용어 "도 3"은 도 3a 내지 도 3b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [99] 도 3을 참조하면, 그래핀 기반 센서는 기관(300), 부도체층(310), 그래핀층(320), 제1 전극(330), 제2 전극(340) 및 도핑영역(360)을 포함한다. 본 실시예의 구성은 제1 전극(330)을 제외하면 도 1의 제1 실시예의 구성과 동일하다. 그래핀 기반 센서는 반응층(380)을 더 포함할 수 있다.
- [100] 도 1의 제1 실시예는 그래핀층(120)의 일측에 제1 전극(130)이 위치한 구조인 반면, 본 실시예의 제1 전극(330)은 그래핀층(320)의 둘레를 감싸는 형태(예: 사각형 형태)이다. 다른 실시예로, 제2 실시예의 제1 전극(230)을 본 실시예의 제1 전극(330)처럼 그래핀층(220)을 둘러싸는 형태로 변형할 수 있다.
- [101] 본 실시예는 제2 전극(340)과 연결되는 두 개의 비아전극(370)을 도시하고 있으나, 비아전극(370)의 개수는 실시예에 따라 얼마든지 다양하게 변형 가능하다. 다른 실시예로, 비아전극(370)은 생략될 수도 있다.
- [102] 도 4a 내지 도 4b는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제4 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 4a는 그래핀 기반 센서의 제4 실시예의 평면도이고, 도 4b는 그래핀 기반 센서의 제4 실시예의 단면도이다. 용어 "도 4"는 도 4a 내지 도 4b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [103] 도 4를 참조하면, 그래핀 기반 센서는 기관(400), 부도체층(410), 그래핀층(420), 제1 전극(430), 제2 전극(440) 및 도핑영역(460)을 포함한다. 제1 내지 제3 실시예와 비교하면, 본 실시예는 복수의 전극(432, 434, 470, 472)을 더 포함한다. 본 실시예는 설명의 편의를 위하여 제1 실시예의 구조(즉, 비아전극 포함 구조)를 기반으로 추가 전극(432, 434, 470, 472)을 도시하여 설명하고 있으나, 본 실시예는 제2 또는 제3 실시예의 구조를 기반으로 구현될 수 있다.
- [104] 제3 전극(432) 및 제4 전극(434)은 제1 전극(430)과 이격된 위치에서 그래핀층(420)에 접하여 형성된다. 제3 전극(432) 및 제4 전극(434)은 제1 전극(430)과 함께

제1 전극(430)의 접합 오류(예: 제1 전극(430)과 그래핀층(420) 사이의 접합 오류 등)를 확인하는데 사용되거나, 제1 전극(430)의 접합 오류 시에 제3 전극(432) 또는 제4 전극(434)을 이용할 수 있다.

- [105] 제5 전극(472) 및 제6 전극(474)은 부도체층(410) 및 기판(400)을 관통하여 기판(400) 하부에 형성된 제2 전극(440)과 각각 연결된다. 따라서 비아전극(470)의 접합 오류 등이 발생한 경우에, 제5 전극(472) 또는 제6 전극(474)을 사용할 수 있다. 또한 비아전극(470)과 제5 전극(472)(또는 제6 전극(474))을 통해 비아전극(470)이 제2 전극(440)에 정상적으로 접합되어 있는지 확인할 수 있다.
- [106] 실시예에 따라, 제3 전극 내지 제6 전극(432, 434, 470, 472) 중 일부의 전극만을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제3 전극(432)만을 포함하거나, 제3 전극(432) 및 제5 전극(472)만을 포함하는 등 다양한 변형이 가능하다.
- [107] 지금까지 도 1 내지 도 4를 참조하여, 기판이 일반 반도체 물질로 구현된 실시예에 대하여 설명하였다. 이하에서는 도 5를 참조하여, 기판이 2차원 물질로 구현된 실시예에 대하여 후술한다.
- [108] 도 5는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 제5 실시예의 구조를 도시한다.
- [109] 도 5를 참조하면, 그래핀 기반 센서(500)는 기판(510), 2차원 반도체층(520), 그래핀층(530), 제1 전극(540) 및 제2 전극(550)을 포함한다. 실시예에 따라, 그래핀 기반 센서(500)는 반응층(560)을 포함하여 구현되거나 반응층(560) 없이 구현될 수 있다. 이하에서는 설명의 편의를 위하여 반응층(560)이 존재하는 경우를 가정하여 설명한다. 이 외에도, 반응층(560)의 주변을 감싸는 구조물을 만들어 검체가 반응층의 바깥으로 흘러나가는 것을 방지할 수 있다.
- [110] 2차원 반도체층(520)은 기판(500) 상에 2차원 물질을 적층하여 형성된다. 예를 들어, 2차원 반도체층(520)은 Si, Ge, WS₂ 또는 MoS 등으로 구현될 수 있다. 이 외에도, 2차원 반도체층(520)은 다양한 종류의 2차원 물질로 구현될 수 있다.
- [111] 그래핀층(530)은 기판(510)과 2차원 반도체층(520)에 걸쳐 그래핀을 적층하여 형성된다.
- [112] 제1 전극(540)은 2차원 반도체층(520)에 접하여 적층되고, 제2 전극(550)은 그래핀층(530)에 접하여 적층된다. 즉, 제1 전극(540)은 2차원 반도체층(520)에 연결되고, 제2 전극(550)은 그래핀층에 연결된다.
- [113] 반응층(560)은 2차원 반도체층(520)과 그래핀층(530)이 적층된 영역의 표면에 위치한다. 반응층(560)은 그래핀층(530)에 전하를 유도하는 물질을 포함한다. 검체(예: 빛, 바이오 물질, 가스 등)의 종류에 따라 반응층(160)을 구성하는 물질의 종류는 다양할 수 있다. 예를 들어, 바이오 물질(예: DNA, 항원, 항체 또는 효소 등), 양자점(예: 황화납 양자점) 또는 고분자 필름 등을 그래핀층(530)에 도포하여 반응층(560)을 형성하거나, 압력을 측정하는 구조물로 구성된 반응층(560)을 그래핀층(530)에 적층할 수 있다. 다른 실시예로, 반응층(560)은 여러 물질이나 여러 층으로 구성될 수 있다. 그래핀층(530)의 표면에 위치한 반응층(560)의 물질 종류에 따라, 본 실시예의 그래핀 기반 센서(500)는 빛을 감지하는 광학 센서, 바

이오 물질을 검출하는 바이오 센서, 가스나 온도, 습도 등을 검출하는 환경 센서 등 다양한 형태로 사용될 수 있다.

- [114] 제1 내지 제5 실시예의 그래핀 기반 센서를 하나 이상 배열하여 센서 어레이를 만들 수 있다. 센서 어레이에 포함된 그래핀 기반 센서가 복수 개일 경우, 센서 어레이는 모두 동일한 구조의 그래핀 기반 센서를 포함하거나, 제1 내지 제5 실시예의 그래핀 기반 센서를 혼합하여 포함할 수 있다. 다만, 이하에서는 설명의 편의를 위하여, 센서 어레이에 포함된 그래핀 기반 센서의 개수가 복수이고, 모두 동일한 구조의 그래핀 기반 센서가 배열된 센서 어레이에 대하여 후술한다.
- [115] 도 6a 내지 도 6b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제1 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 6a는 센서 어레이의 제1 실시예의 평면도이고, 도 6b는 센서 어레이의 제1 실시예의 도 6a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이다. 용어 "도 6"은 도 6a 내지 도 6b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [116] 도 6을 참조하면, 센서 어레이는 복수 개의 그래핀 기반 센서를 1차원으로 배열한 구조이다. 센서 어레이를 구성하는 그래핀 기반 센서는 도 3의 제3 실시예의 구조를 기반으로 한다. 즉, 그래핀 기반 센서는 기판(600), 부도체층 (610), 그래핀층(620), 제1 전극(630), 제2 전극(640) 및 도핑영역(660)을 포함한다. 센서 어레이는 각 그래핀 기반 센서의 측정값(예: 전류 또는 전압 등의 전기적 신호)를 출력하는 출력단자(632)를 더 포함할 수 있다. 출력단자(632)는 도 4에서 살핀 제4 전극(434)에 대응될 수 있다.
- [117] 센서 어레이를 구성하는 복수의 그래핀 기반 센서의 제2 전극(640)은 서로 연결된 공통 전극이다. 다시 말해, 기판(600)의 뒷면에는 복수의 그래핀 기반 센서를 가로지르는 세로 방향의 공통 전극(590)이 형성될 수 있다. 본 실시예는 비아전극(670)을 도시하고 있으나, 실시예에 따라 비아전극(670)은 생략될 수 있다.
- [118] 센서 어레이를 구성하는 복수의 그래핀 기반 센서의 반응층(680)은 모두 동일한 물질을 포함하거나, 서로 다른 물질(A1, A2, A3)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 서로 다른 양자점의 물질을 각 그래핀 기반 센서의 반응층(680)으로 구성하여, 빛의 파장 또는 세기를 검출하는 센서 어레이를 구현할 수 있다. 또는 바이오 분자(예: DNA, RNA, 항원, 항체, 효소 중 적어도 하나 이상)에 반응하는 정도가 서로 다른 바이오 분자를 각 그래핀 기반 센서의 반응층(680)으로 구성하여 바이오 분자의 종류 및/또는 양을 검출하는 센서 어레이를 구현할 수 있다. 예를 들어, 센서 어레이는 코로나 바이러스와 조류 독감 바이러스를 구분하거나, 코로나 바이러스 중에서도 SARS-CoV-1, SARS-CoV-2를 구분할 수 있다. 또는 특정 가스 분자에 반응하는 정도가 서로 다른 분자를 각 그래핀 기반 센서의 반응층(680)으로 구성하여, 가스의 종류 및/또는 양을 검출하는 센서 어레이를 구현할 수 있다. 또는 양자점, 바이오 분자, 가스 분자에 반응하는 물질 등을 조합하여 센서 어레이의 반응층(680)을 구성하여, 하나의 센서 어레이를 통해 빛, 바이오 분자, 가스 분자 등을 동시에 검출할 수 있다.

- [119] 센서 어레이의 각 그래핀 기반 센서의 반응층(680)을 구성하는 물질이나 구조 등이 서로 다른 경우에, 부도체층(610)의 두께는 각 그래핀 기반 센서의 반응층(680)의 물질 등이 서로 섞이는 것을 방지할만큼 기 설정된 높이로 구현될 수 있다.
- [120] 도 7a 내지 도 7d는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제2 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 7a는 센서 어레이의 제2 실시예의 평면도이고, 도 7b는 센서 어레이의 제2 실시예의 도 7a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이고, 도 7c는 센서 어레이의 제2 실시예의 도 7a에 도시된 B-B'선을 따른 단면도의 일례이고, 도 7d는 센서 어레이의 제2 실시예의 도 7a에 도시된 B-B'선을 따른 단면도의 다른 일례이다. 용어 "도 7"은 도 7a 내지 도 7d 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [121] 도 7을 참조하면, 센서 어레이는 복수 개의 그래핀 기반 센서를 포함한다. 센서 어레이를 구성하는 각 그래핀 기반 센서는 기판(700), 부도체층(710), 그래핀층(720), 제1 전극(730), 제2 전극(740) 및 도핑영역(760)을 포함한다. 본 실시예의 그래핀 기반 센서는 도 2의 제2 실시예의 구조를 일부 변형한 것이다.
- [122] 복수 개의 그래핀 기반 센서의 그래핀층(720)은 서로 연결되어 있다. 다시 말해, 센서 어레이의 그래핀층(720)은 복수 개의 그래핀 기반 센서를 가로질러 적층된다. 따라서 그래핀층(720)에 연결된 제1 전극(730)은 복수 개의 그래핀 기반 센서에 대한 공통 전극이다. 도 6의 센서 어레이의 경우에 제2 전극(640)이 공통 전극인 반면, 본 실시예는 제1 전극(730)이 공통 전극이다. 제2 전극(740)은 각 그래핀 기반 센서마다 존재한다. 또한 각 그래핀 기반 센서에는 측정값을 출력하는 출력단자(742)가 더 존재할 수 있다.
- [123] 또 다른 실시예로, 부도체층(710)은 계단식으로 형성될 수 있다(도 7c 및 도 7d 참조). 본 실시예는 부도체층(710)의 높이에 따른 두 가지 예시를 함께 도시하고 있다. 예를 들어, 제1 전극(730)이 존재하는 부도체층(710)의 영역을 주변보다 더 높게 형성할 수 있다(도 7c 참조). 이 경우 검체가 센서 어레이의 바깥으로 흘러나가는 것을 방지할 수 있다.
- [124] 도 8a 내지 도 8d는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제3 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 8a는 센서 어레이의 제3 실시예의 평면도이고, 도 8b는 센서 어레이의 제3 실시예의 도 8a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이고, 도 8c는 센서 어레이의 제3 실시예의 도 8a에 도시된 B-B'선을 따른 단면도의 일례이고, 도 8d는 센서 어레이의 제3 실시예의 도 8a에 도시된 B-B'선을 따른 단면도의 다른 일례이다. 용어 "도 8"은 도 8a 내지 도 8d 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [125] 도 8을 참조하면, 센서 어레이는 복수 개의 그래핀 기반 센서를 포함한다. 센서 어레이를 구성하는 각 그래핀 기반 센서는 기판(800), 부도체층(810), 그래핀층(820), 제1 전극(830), 제2 전극(840) 및 도핑영역(860)을 포함한다.
- [126] 도핑영역(860)은 복수 개의 그래핀 기반 센서를 가로질러 기판(800)의 세로 방향으로 길게 형성된다. 예를 들어, 도핑영역(860)이 서로 다른 농도를 가진 복수의 영역으로 구성되는 경우에, 복수의 그래핀 기반 센서를 모두 가로지르는 제2 도

평영역(855)과 각 그래핀 기반 센서의 그래핀층(820)에 대응되는 복수의 제1 도 평영역(850, 851, 852)을 포함한다.

- [127] 제2 전극(830)은 도 2의 제2 실시예와 같이 부도체층(810)을 관통하여 도평영역(860)과 연결된다. 본 실시예는 두 개의 제2 전극(840, 842)을 포함하는 구조를 도시하고 있으나, 제2 전극(840, 842)의 개수는 실시예에 따라 다양하게 변형될 수 있다. 복수의 그래핀 기반 센서를 모두 가로지르는 도평영역(860)에 제2 전극(840)이 연결되므로, 제2 전극(840)은 복수의 그래핀 기반 센서에 대한 공통 전극이 된다. 제1 전극(830)은 각 그래핀 기반 센서마다 존재한다. 각 그래핀 기반 센서의 측정값을 출력하는 출력단자(832)를 더 포함할 수 있다.
- [128] 다른 실시예로, 부도체층(810)은 계단식으로 형성될 수 있다(도 8c 및 도 8d 참조). 본 실시예는 부도체층(810)의 높이에 따른 두 가지 예를 함께 도시하고 있다. 예를 들어, 제2 전극(840)이 존재하는 부도체층(810)의 영역을 도 7c의 실시예와 같이 주변보다 더 높게 형성될 수 있다(도 8c 참조). 또 다른 실시예로, 기관(800)의 하면에는 도평영역(760)과 연결되는 별도의 추가 전극(894, 898)을 더 포함할 수 있다.
- [129] 도 9a 내지 도 9b 및 도 10a 내지 도 10b는 각각 본 개시에 따른 센서 어레이의 제 4 및 제5 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 9a는 센서 어레이의 제4 실시예의 평면도이고, 도 9b는 센서 어레이의 제4 실시예의 도 9a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이다. 또한, 도 10a는 센서 어레이의 제5 실시예의 평면도이고, 도 10b는 센서 어레이의 제5 실시예의 도 10a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이다. 용어 "도 9"는 도 9a 내지 도 9b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있고, 마찬가지로 용어 "도 10"은 도 10a 내지 도 10b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [130] 도 9 및 도 10을 참조하면, 센서 어레이는 기관(900, 1000)에 출력부(950, 1050)를 포함한다. 센서 어레이를 구성하는 각 그래핀 기반 센서는 기관(900, 1000), 부도체층(910, 1010), 그래핀층(920, 1020), 제1 전극(930, 1030), 제2 전극(940, 1040) 및 도평영역(960, 1060)을 포함한다. 그래핀층(920, 1020)의 표면에 반응층(980, 1080)을 더 포함할 수 있다. 도 9의 센서 어레이의 구조는 도 7의 구조를 일부 변형한 구조이고, 도 10의 센서 어레이의 구조는 도 8의 구조를 일부 변형한 구조이다.
- [131] 출력부(950, 1050)는 기관(900, 1000)에 반도체 회로로 구현될 수 있다.
- [132] 출력부(950, 1050)는 주소 신호를 입력 받는 단자(972, 1072) 및 출력 단자(974, 1074) 등을 포함한다. 출력부(950, 1050)는 센서 어레이의 복수 개의 그래핀 기반 소자의 출력 단자(970, 1032)와 연결된다. 출력부(950, 1050)는 주소 신호를 입력 받으면 복수 개의 그래핀 기반 소자 중 해당하는 그래핀 기반 소자의 출력 단자를 통해 입력 받은 신호(예: 측정값)를 선택적으로 출력한다. 예를 들어, 출력부(950, 1050)는 멀티플렉서 회로로 구현될 수 있다. 출력부(950, 1050)의 다양한 실시예가 도 17 내지 도 26에 도시되어 있다.

- [133] 도 11a 내지 도 11b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제6 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 11a는 센서 어레이의 제6 실시예의 평면도이고, 도 11b는 센서 어레이의 제6 실시예의 도 11a에 도시된 A-A'선을 따른 단면도이다. 용어 "도 11"은 도 11a 내지 도 11b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [134] 도 11을 참조하면, 센서 어레이는 $n \times m$ (n, m 은 2 이상의 자연수)의 형태로 그려진 기반 센서가 배열된 구조이다. 각 그려진 기반 센서는 기판(1100), 부도체층(1110), 그려핀층(1120), 제1 전극(1130), 제2 전극(1140) 및 도핑영역(1160)을 포함한다. 이 외에도 센서 어레이의 각 그려핀 기반 센서는 도 1 내지 도 5에서 살핀 다양한 실시예의 구조로 구현될 수 있다.
- [135] 그려핀층(1120)은 행 단위로 복수 개의 그려핀 기반 센서에 걸쳐 적층된다. 예를 들어, 제1 행에 위치한 3개의 그려핀 기반 센서의 그려핀층은 서로 연결된다. 따라서 행 단위로 공통된 제1 전극(1130)이 존재한다.
- [136] 도핑영역(1160)은 열 단위로 복수 개의 그려핀 기반 센서에 걸쳐 존재한다. 예를 들어, 제1 행에 위치한 3개의 그려핀 기반 센서의 도핑영역이 서로 연결되고, 제2 행에 위치한 3개의 그려핀 기반 센서의 도핑영역이 서로 연결되고, 제3 행에 위치한 3개의 그려핀 기반 센서의 도핑영역이 서로 연결된다. 따라서 열 단위로 공통된 제2 전극(1140)이 존재한다. 예를 들어, 도 8과 같이 부도체층(1110)을 관통하여 도핑영역(1160)에 연결된 제2 전극(1140)이 각 행마다 존재한다.
- [137] 복수의 제1 전극(1130, 1131, 1132)과 복수의 제2 전극(1140, 1141, 1142)을 통해 복수 개의 그려핀 기반 센서 중에 원하는 그려핀 기반 센서의 측정값을 출력할 수 있다. 예를 들어, 제1 행의 제1 전극과 제2 열의 제2 전극에 신호를 인가하여 B2 센서를 동작시킬 수 있다.
- [138] 각 그려핀 기반 센서의 동작을 선택적으로 제어하고 각 그려핀 기반 센서의 측정값을 선택적으로 출력하도록 제1 멀티플렉서(1150) 및 제2 멀티플렉서(1160)를 포함할 수 있다. 일 실시예로, 제1 멀티플렉서(1150) 및 제2 멀티플렉서(1160)는 기판(1100)에 반도체 회로로 구현될 수 있다. 제1 멀티플렉서(1150)는 복수의 제2 전극(1140, 1141, 1142)과 연결되고, 제2 멀티플렉서(1160)는 복수의 그려핀 기반 센서의 출력 단자(미도시)와 연결될 수 있다. 예를 들어, 제1 멀티플렉서(1150)는 주소 신호를 입력 받으면 복수의 제2 전극(1140, 1141, 1142) 중 그 주소 신호에 해당하는 열의 신호를 입력 받아 출력 하고, 제2 멀티플렉서(1160)는 주소 신호를 입력 받으면 해당하는 행의 신호를 입력 받아 출력한다.
- [139] 도 12는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제7 실시예의 구조를 도시한다.
- [140] 도 12를 참조하면, 센서 어레이의 복수 개의 그려핀 기반 센서(1210) 및 두 개의 멀티플렉서(1220, 1240)의 구조는 도 11의 구조와 동일하다. 본 실시예는 증폭기(1240)를 더 포함한다. 증폭기(1240)는 제2 멀티플렉서(1230)와 연결되어 제2 멀티플렉서(1230)의 출력 신호를 증폭한다. 본 실시예의 증폭기(1240)를 포함하는 센서 어레이는 칩(chip) 형태로 구현될 수 있다.

- [141] 도 13a 내지 도 13b는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제8 실시예의 구조를 도시한다. 구체적으로, 도 13a는 센서 어레이의 제8 실시예의 평면도이고, 도 13b는 센서 어레이의 제8 실시예의 단면도이다. 용어 "도 13"은 도 13a 내지 도 13b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [142] 도 13을 참조하면, 센서 어레이는 복수 개의 그래핀 기반 센서(1360)를 포함한다. 센서 어레이의 구조는 도 6 내지 도 12의 구조 중 어느 하나일 수 있다. 또한, 센서 어레이의 구조는 후속하여 설명될 도 14 내지 도 15의 구조 중 어느 하나일 수도 있다. 센서 어레이(1360)는 또한 저장부(1340) 및 채널부(1350)를 포함한다.
- [143] 저장부(1340)는 기관(1300)을 일정 깊이와 일정 너비로 식각하여 형성된다. 복수 개의 그래핀 기반 센서는 채널부(1350)를 통해 저장부(1340)와 연결된다. 채널부(1350)는 복수의 그래핀 기반 센서(1360)와 저장부(1340) 사이의 부도체층(1310)의 일부를 일정 깊이 및 일정 너비로 식각하여 형성될 수 있다.
- [144] 채널부(1350)의 깊이 및 너비는 저장부(1340)의 깊이 및 너비보다 작게 형성하여, 저장부(1340)에 저장된 검체 중 일정 크기 이하의 물질만 채널부(1350)를 통해 복수의 그래핀 기반 센서(1360)로 전달되도록 할 수 있다. 예를 들어, 검체가 혈액인 경우에, 채널부(1350)를 일정 폭 미만(예: $6\mu\text{m}$ 미만)으로 형성하여 적혈구와 백혈구를 제외한 나머지 물질만 그래핀 기반 센서(1360)로 전달되도록 할 수 있다.
- [145] 본 실시예는 센서 어레이 구조에 저장부(1340) 및 채널부(1350)를 더 포함하는 구조를 도시하고 있으나, 저장부(1340) 및 채널부(1350)의 구성은 도 1 내지 도 5에서 살핀 단일 그래핀 기반 센서에도 적용될 수 있다.
- [146] 도 14는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제9 실시예의 구조를 도시한다.
- [147] 도 14를 참조하면, 센서 어레이(1400)는 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)과 그래핀층(1420)이 적층된 복수 개의 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)을 포함한다. 복수 개의 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)은 각각 도 5에서 살핀 그래핀 기반 센서의 역할을 수행한다.
- [148] 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)은 서로 이격되어 기관 상에 배치되고, 그래핀층(1420)은 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)에 걸쳐 적층될 수 있다. 예를 들어, 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)은 제1 방향(예: 세로 방향)으로 일정 간격 이격되어 배열되고, 그래핀층(1420)은 제1 방향에 수직인 제2 방향(예: 가로 방향)으로 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)을 가로질러 적층될 수 있다. 그래핀층(1420)은 복수의 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)에 공통으로 연결된다.
- [149] 일 실시예로, 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)은 동일한 2차원 물질로 구현되거나 서로 다른 2차원 물질로 구현될 수 있다. 또는 일부의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416 중 둘 이상)만 서로 상이한 2차원 물질로 구현될 수 있다.

- [150] 다른 실시예로, 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)과 그 래핀층(1420)이 적층된 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)의 크기는 서로 다를 수 있다. 예를 들어, 적어도 둘 이상의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)의 폭을 서로 다르게 구현할 수 있다. 또는 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)에 해당하는 그 래핀층(1420)의 폭을 서로 다르게 구현할 수 있다.
- [151] 본 실시예는 설명의 편의를 위하여 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)과 그 래핀층(1420)만을 도시하고 있으나 각 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)의 구조는 도 5와 같은 구조를 포함할 수 있다. 예를 들어, 복수 개의 제1 전극(미도시)은 복수 개의 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)에 각각 연결되고, 하나의 제2 전극(미도시)은 그 래핀층(1420)에 연결될 수 있다.
- [152] 반응층(미도시)은 2차원 반도체층(1410, 1412, 1414, 1416)과 그 래핀층(1420)이 적층된 각 센싱영역(1430, 1432, 1434, 1436)마다 존재할 수 있다. 각 센싱영역의 반응층을 구성하는 물질은 서로 동일하거나 상이할 수 있다.
- [153] 도 15는 본 개시에 따른 센서 어레이의 제10 실시예의 구조를 도시한다.
- [154] 도 15를 참조하면, 센서 어레이(1500)는 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)과 그 래핀층(1530)이 적층된 복수의 센싱영역(1580, 1582, 1584, 1586, 1588, 1590)을 포함한다. 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)은 서로 이격되어 기판 상에 방사형으로 배치되고, 그 래핀층(1530)은 원형의 띠 모양으로 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)에 걸쳐 적층될 수 있다.
- [155] 복수 개의 제1 전극(1540, 1542, 1544, 1546, 1548, 1550)은 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)에 각각 연결되고, 제2 전극(1570)은 그 래핀층(1530)에 연결된다.
- [156] 센서 어레이(1500)는 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)에 공통으로 연결된 제3 전극(1560)을 더 포함할 수 있다. 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)이 방사형으로 배치되므로 제3 전극(1560)은 방사형 배치의 안쪽에서 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)에 공통으로 연결되도록 형성될 수 있다. 복수 개의 제1 전극(1540, 1542, 1544, 1546, 1548, 1550)과 제3 전극(1560)을 통해 각 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)의 상태(예: 고장 여부 등)를 확인할 수 있다.
- [157] 센서 어레이(1500)는 그 래핀층(1530)에 연결된 제4 전극(1572)을 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 그 래핀층(1530)은 일부가 개방된 원형의 띠 모양이며, 그 래핀층(1530)의 양단에 각각 제2 전극(1570) 및 제4 전극(1572)이 연결될 수 있다. 제2 전극(1570)과 제4 전극(1572)을 통해 그 래핀층(1530)의 상태(예: 고장 상태 등)를 확인할 수 있다.
- [158] 복수 개의 2차원 반도체층(1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520)에 각각 연결된 복수 개의 제1 전극(1540, 1542, 1544, 1546, 1548, 1550)과 제2 전극(1570)을 통해 각 센싱영역(1580, 1582, 1584, 1586, 1588, 1590)의 센싱값을 측정할 수 있다.

- [159] 지금까지 설명된 도 6 내지 도 15의 센서 어레이를 이용하여 빛의 주파수나 세기, 바이오 분자나, 가스 분자 또는 압력 등을 검출할 수 있다. 예를 들어, 각 그래핀 기반 센서의 그래핀층 또는 센싱영역 표면에 위치한 반응층을 다양한 바이러스나 박테리아의 항체로 구성하여, 검체가 보유하고 있는 항원의 종류를 검출할 수 있다. 또는 반응층을 다양한 바이러스나 박테리아의 특정 단백질로 구성된 항원으로 구성하면, 검체가 보유하고 있는 항체의 종류를 검출할 수 있다. 또는 다양한 병원체에 서로 다른 정도로 반응하는 항체를 반응층으로 구성하여, 병원체의 종류를 검출할 수 있다. 또는 다양한 효소를 반응층으로 구성하면, 효소에 반응하는 다양한 물질의 종류를 검출할 수 있다.
- [160] 또 다른 실시예로, 센서 어레이를 구성하는 그래핀 기반 센서의 반응층을 특정 가스 분자에 반응하는 정도가 서로 다른 분자로 구성하여, 가스 분자의 종류와 양을 검출할 수 있다. 또 다른 실시예로, 반응층을 압력에 반응하는 구조물로 만들어, 압력의 세기를 검출할 수 있다.
- [161] 또 다른 실시예로, 센서 어레이를 구성하는 복수의 그래핀 기반 센서의 반응층을 핵산으로 구성하여 핵산의 시퀀스를 검출할 수 있다. 일례로, 반응층의 물질을 20 염기쌍(base-pair) 내외의 단일 가닥(singel strain) 핵산으로 구성하여 1 염기쌍까지 검출할 수 있는 센서 어레이를 구현할 수 있다. 예를 들어, 특정 시퀀스를 가진 제1 핵산에 대하여 상보 시퀀스(complementary sequence)를 가진 핵산을 제1 그래핀 기반 센서의 반응층으로 구성하고, 제1 핵산의 일부의 염기 쌍이 변형(mutation)된 제2 핵산에 대하여 상보 시퀀스를 가진 핵산을 제2 그래핀 기반 센서의 반응층으로 구성할 수 있다. 제1 핵산과 제2 핵산의 농도가 각각 C1, C2인 검체를 센서 어레이에 입력하면, 센서 어레이의 측정값(S1, S2)은 다음과 같이 표시된다.
- [162] [수식1]
- $$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$$
- [163] 여기서, Mnm은 n의 시퀀스를 가지는 핵산을 m의 시퀀스를 상보 시퀀스와 결합하였을 때 그래핀 기반 센서가 나타내는 신호의 크기를 의미한다. Mnm은 미리 실험적으로 파악하여 정의될 수 있다. 위 수학식으로부터 검체의 제1 핵산 및 제2 핵산의 농도는 다음과 같이 구할 수 있다.
- [164] [수식2]
- $$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}$$
- [165] 즉, 센서 어레이의 측정값(S1,S2)을 알면 검체의 제1 핵산과 제2 핵산의 농도를 알 수 있다. 위 예는 두가지 종류의 핵산을 이용하여 설명하고 있으나, 동일 방법으로 세가지 종류 이상의 핵산을 검출할 수 있다.

- [166] 또 다른 실시예로, 혈액 내 다양한 물질(예: 칼슘, 나트륨, 혈당 등)의 농도를 측정할 수 있다. 센서 어레이를 구성하는 그래핀 기반 센서의 반응층을 다양한 효소 또는 채널로 구성하여, 혈액 내의 이온, 혈당 등의 농도를 검출할 수 있다. 예를 들어, 제1 그래핀 기반 센서의 반응층을 글루코스산화효소(glucose oxidase)로 구성하고, 제2 그래핀 기반 센서의 반응층을 칼륨채널(potassium channel)로 구성하여, 혈액 내의 글루코스 농도 및 칼륨 농도를 측정할 수 있다. 이 외에도 다양한 효소 반응과 다양한 채널을 포함하도록 센서 어레이를 구성하여 검체 내 다양한 물질의 농도를 한꺼번에 측정할 수 있다.
- [167] 도 16a 내지 도 16b는 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서의 전류 변화의 일례를 도시한다. 구체적으로, 도 16a는 그래핀 기반 센서의 전류 변화를 나타내고, 도 16b는 트랜지스터 기반 센서의 전류 변화를 나타낸다. 용어 "도 16"은 도 16a 내지 도 16b 중 어느 하나의 도면을 가리킬 수 있다.
- [168] 도 16을 참조하면, 그래핀 기반 센서의 출력 전류(1600, 1610)는 반응층의 반응 정도에 따라 변화한다. 또한 그래핀 기반 센서의 출력 전류(1610, 1610)는 반응층을 구성하는 물질의 종류에 따라 달라질 수 있다. 다만, 종래의 트랜지스터 기반의 센서의 출력 전류(1650, 1660)보다 본 실시예의 그래핀 기반의 센서의 출력 전류(1600, 1610)의 민감도가 더 크므로 미세한 전기 신호의 변화를 정확하게 측정 가능하다. 출력 전류(1600, 1610)의 변화를 이용하여 빛의 파장이나 세기, 바이오 분자의 종류나 양, 가스 분자의 종류나 양 또는 압력의 세기 등을 검출할 수 있다.
- [169] 그래핀 기반 센서의 출력 전류(1600, 1610)는 로그 스케일로 변화하므로 측정 범위가 매우 넓어 이를 정확하게 측정하는데 어려움이 있다. 따라서 도 17 내지 도 26에서는 그래핀 기반 센서의 출력 전류(1600, 1610)를 일정 범위의 전압(예: 0~10V 등)으로 변환하여 측정하는 방법 및 그 장치를 제시한다.
- [170] 도 17 및 도 18은 본 개시에 따른 그래핀 기반 센서를 이용한 측정 장치의 다양한 예시를 도시한다.
- [171] 도 17 및 도 18을 참조하면, 측정 장치는 그래핀 기반 센서(1710, 1810)와 출력부(1720, 1820)를 포함한다. 그래핀 기반 센서(1710, 1810)는 칩(1700, 1800) 형태로 구현될 수 있다. 출력부(1720, 1820)는 전치증폭부(pre-amplifier)(1730, 1830) 및 피드백부(1740, 1840)를 포함한다. 실시예에 따라 측정 장치는 제어부(1750, 1850)를 더 포함할 수 있다.
- [172] 전치증폭부(1730, 1830)는 그래핀 기반 센서(1710, 1810)의 출력 전류를 전압으로 변환한다. 다시 말해, 전치증폭부(1730, 1830)는 전류를 입력 받으면 일정 범위의 전압을 출력한다. 일 실시예로, 전치증폭부(1730, 1830)는 증폭기와 가변 저항을 포함하고, 가변 저항의 조정을 통해 증폭기의 출력 전압이 일정 범위(예: 0~10V)가 되도록 조정할 수 있다. 본 실시예의 전치증폭부(1730, 1830)의 구조는 이해를 돕기 위한 하나의 예시일 뿐이며, 전류 입력을 전압으로 변환하여 출력하는 종래의 다양한 회로 구조가 본 실시예의 전치증폭부(1730, 1830)에 사용될 수 있다.

- [173] 피드백부(1740, 1840)는 전치증폭부(1730, 1830)의 출력 전압을 제어부(1750, 1850)의 설정값(set point)에 맞도록 피드백 제어하여 출력한다. 도 16에서 살핀 바와 같이 그래핀 기반 센서(1710, 1810)는 반응층의 반응 물질에 따라 출력 전류(1600, 1610)의 그래프가 상이하므로, 피드백부(1740, 1840)는 설정값에 따라 전치 증폭부(1730, 1830)의 출력 전압을 조정한다. 예를 들어, 전치증폭부(1730, 1830)의 출력 전압의 범위가 0~10V이고, 설정값이 1V 이면, 피드백부(1740, 1840)는 전치증폭부(1730, 1830)의 출력 전압을 0~1V 사이의 값으로 조정하여 출력한다. 설정값에 따라 출력 전압의 범위를 조정하는 피드백부(1740, 1840)는 아날로그 회로로 구성되거나 DSP(Digital Signal Processor)로 구현될 수 있다. DSP로 구현된 피드백부의 일례가 도 19에 도시되어 있다.
- [174] 전치증폭부(1730, 1830)와 그래핀 기반 센서(1710, 1810) 사이의 연결은 다양한 형태로 구현될 수 있다. 예를 들어, 도 17을 참조하면, 증폭기의 (-) 단자는 그래핀 기반 센서(1710)의 출력 단자와 연결되고, 증폭기의 (+) 단자는 피드백부(1740)의 출력에 연결될 수 있다. 도 18을 참조하면, 증폭기의 (-) 단자는 그래핀 기반 센서(1810)의 출력 단자와 연결되고, 증폭기의 (+) 단자는 그라운드에 연결될 수 있다. 이때 그래핀 기반 센서(1810)의 나머지 전극은 피드백부(1840)의 출력에 연결될 수 있다.
- [175] 도 19는 본 개시에 따른 측정 장치의 피드백부 및 제어부의 상세 구성의 일례를 도시한다.
- [176] 도 19를 참조하면, 피드백부(1900)는 DSP로 구현된다. 피드백부(1900)는 일정 범위(예: 제1 범위)의 전압을 입력 받으면, 앞서 살핀 전치증폭부(1730, 1830)의 출력 전압의 값을 피드백 제어하여 일정 범위(예: 제2 범위 < 제1 범위)의 전압으로 조정하여 출력한다. 전치증폭부(1730, 1830)의 출력 전압을 피드백 제어하여 일정 범위의 전압으로 출력하는 종래의 다양한 회로 구조가 본 실시예의 피드백부(1900)에 적용될 수 있으며, 피드백부(1900)는 본 실시예의 구조로 한정되는 것은 아니다. 측정 장치는 제어부(1910)와 함께 표시부(1920), 통신부(1930), 입력부(1940) 등을 더 포함할 수 있다.
- [177] 도 20 내지 도 26은 본 개시에 따른 센서 어레이를 이용한 측정 장치의 다양한 예시를 도시한다.
- [178] 도 20을 참조하면, 측정 장치는 센서 어레이(2000)에 포함된 복수의 그래핀 기반 센서(2010, 2012, 2014, 2016)의 측정값을 출력하는 복수 개의 출력부(2020, 2022, 2024, 2026)를 포함한다. 각 출력부(2020, 2022, 2024, 2026)는 도 17 또는 도 18의 구조로 구현될 수 있다. 예를 들어, 센서 어레이(2000)가 4개의 그래핀 기반 센서(2010, 2012, 2014, 2016)를 포함하면, 4개의 출력부(2020, 2022, 2024, 2026)가 각 그래핀 기반 센서(2010, 2012, 2014, 2016)에 연결된다. 센서 어레이(2000)에 포함되는 그래핀 기반 센서의 개수 만큼 출력부가 필요하므로, 그 개수에 따라 측정 장치의 크기가 커진다.

- [179] 도 21 및 도 22를 참조하면, 측정 장치는 멀티플렉서(2100, 2200)가 추가된 출력부를 포함한다. 도 20의 실시예는 센서 어레이(2000)에 포함된 그래핀 기반 센서의 개수만큼 출력부를 포함하여야 하나, 본 실시예는 하나의 출력부를 포함하면 된다. 멀티플렉서(2100, 2200)는 센서 어레이(2000)의 복수 개의 그래핀 기반 센서로부터 출력 전류를 선택적으로 입력 받아 전압을 출력한다. 도 21은 도 17의 출력부(1720)의 구성과 멀티플렉서(2100)를 연결한 구조이고, 도 22는 도 18의 출력부(1820)의 구성과 멀티플렉서(2200)를 연결한 구조이다.
- [180] 도 23 및 도 24를 참조하면, 센서 어레이와 멀티플렉서(2300, 2400)가 하나의 칩에 구현된 경우이다. 이 경우 센서 어레이는 멀티플렉서(2300, 2400)를 통해 복수의 그래핀 기반 센서의 측정값을 선택적으로 출력하므로, 출력부(2310, 2410)는 하나로 구성될 수 있다. 도 23의 출력부(2310)은 도 17의 출력부(1720)과 동일하고, 도 24의 출력부(2110)은 도 18의 출력부(1830)의 구성과 동일하다.
- [181] 도 25 및 도 26을 참조하면, 센서 어레이, 멀티플렉서(2510, 2610) 및 전치증폭부(2520, 2620)가 하나의 칩(2500, 2600)으로 구현된 경우이다. 출력부(2530, 2630)는 피드백부 및 제어부를 포함한다. 도 25는 도 18의 출력부(1820)의 구조를 기반으로 구현한 것이고, 도 26은 도 17의 출력부(1720)의 구성을 기반으로 구현한 것이다.
- [182] 도 27은 본 개시에 따른 측정 장치의 블록도를 도시한다.
- [183] 이하, 측정 장치의 일례로서 센서측정장치(2700)가 설명된다. 센서측정장치(2700)는 컴퓨팅 기능을 수행하는 컴퓨팅 장치로서 구현될 수 있다.
- [184] 도 27을 참조하면, 센서측정장치(2700)는 전압인가부(2702) 및 측정부(2704)를 포함한다. 센서측정장치(2700)는 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 도 17 내지 도 26이 예시로서 참조될 수 있다. 센서(2710)는 검체의 종류에 따라 서로 다른 전류 또는 저항을 출력할 수 있다. 다양한 종류의 센서(2710)가 본 실시예에 사용될 수 있다. 다른 실시예로, 센서의 민감도를 높이기 위하여 그래핀 기반의 센서를 이용할 수 있다. 그래핀 기반의 센서에 대해서는 도 1 내지 도 15 및 도 17 내지 도 26이 예시로서 참조될 수 있다.
- [185] 전압인가부(2702)는 센서(2710)에 기 정의된 전압범위 내에서 적어도 하나 이상의 전압을 인가한다. 예를 들어, 전압인가부(2702)는 0~2V 사이의 전압을 일정 간격(예: 0.1V 간격)으로 센서(2710)에 입력한다. 실시예에 따라 전압 범위 및 전압 인가 간격은 다양하게 변형될 수 있다.
- [186] 측정부(2704)는 전압의 인가에 따른 센서(2710)의 저항 또는 전류를 측정한다. 측정부(2704)는 전압별 센서의 저항 또는 전류를 파악한다. 예를 들어, 측정부(2704)는 검체 인가 전에 전압의 인가에 따른 센서(2710)의 저항 또는 전류의 측정값을 파악하고, 검체 인가 후에 전압의 인가에 따른 센서(2710)의 저항 또는 전류의 측정값을 파악한다. 이러한 센서측정장치(2700)를 이용한 측정 방법에 대해서는 추후 도 30 내지 도 33을 참조하여 설명한다.

- [187] 측정부(2704)는 화면 인터페이스를 통해 측정 결과를 표시하거나, 소리 등을 통해 검체의 인식 여부를 출력하거나, 또는 유무선 통신망을 통해 외부 기기로 측정 결과를 전송할 수 있다. 측정부(2704)가 표시하거나 전송하는 정보의 종류는 실시예에 따라 다양하게 변형 가능하다.
- [188] 도 28 내지 도 29는 본 개시에 따른 측정 장치의 구현 예시를 도시한다.
- [189] 도 28을 참조하면, 측정 장치(2800)는 휴대할 수 있는 작은 크기로 구현될 수 있다. 측정 장치(2800)의 일측에는 진단 스트립을 삽입할 수 있는 삽입구(2810)가 존재한다. 진단 스트립(2810)은 얇고 긴 막대 형태이며, 검체가 묻은 진단 스트립(2810)을 측정 장치(2800)의 삽입구(2810)에 삽입할 수 있다.
- [190] 일 실시예로, 측정 장치(2800)는 그래핀 기반 센서의 측정값을 스마트폰 등의 외부 기기로 전송할 수 있다. 이에 대해서는 추후 도 34를 참조하여 측정 장치의 사용 예시에 대해 설명한다. 다른 실시예로, 측정 장치(2800)는 그래핀 기반 센서의 측정값을 분석할 수 있는 내부 회로를 더 포함할 수 있다. 이에 대해서는 추후 도 35 내지 도 36을 참조하여 설명한다. 또한 측정 장치(2800)는 분석 결과를 표시할 수 있는 디스플레이 또는 분석 결과 등을 유선 또는 무선망을 통해 외부로 전송할 수 있는 통신부를 더 포함할 수 있다.
- [191] 도 29를 참조하면, 측정 장치(2900)는 복수의 진단 스트립을 삽입할 수 있는 복수의 삽입구(2910)를 포함하고, 각 삽입구(2910)를 통해 삽입된 복수의 진단 스트립을 동시에 분석할 수 있는 복수의 그래핀 기반 센서를 포함한다. 측정 장치(2900)에 포함된 복수의 그래핀 기반 센서는 삽입구(2910)마다 각각 별개로 존재하거나, 앞서 살핀 센서 어레이 구조로 존재할 수 있다.
- [192] 측정 장치(2900)는 복수의 그래핀 기반 센서의 출력값을 분석할 수 있는 내부 회로를 포함할 수 있다. 마찬가지로, 이에 대해서는 추후 도 35 내지 도 36을 참조하여 설명한다. 측정 장치(2900)는 분석 결과를 표시하는 표시부 및 분석 결과를 외부 기기로 전송할 수 있는 통신부를 더 포함할 수 있다.
- [193] 다른 실시예로, 도 28 또는 도 29의 측정 장치(2800, 2900)를 이용하여 검체의 정량 분석을 수행할 수 있다. 도 28과 같이 측정 장치(2800)에 하나의 삽입구(1810)가 존재하면, 복수의 서로 다른 농도의 표준 시료가 존재하는 복수의 진단 스트립과 검체의 진단 스트립을 순차적으로 측정 장치(2800)의 삽입구(2810)에 삽입하여 각 진단 스트립에 대한 그래핀 기반 센서의 측정값을 얻을 수 있다. 또는 도 29와 같이 측정 장치(2900)에 복수의 삽입구(2910)가 존재하면, 복수의 서로 다른 농도의 표준 시료의 진단 스트립과 검체의 진단 스트립을 동시에 측정 장치(2900)의 삽입구(2910)에 삽입하여, 복수의 진단 스트립에 대한 그래핀 기반 센서의 측정값을 한꺼번에 얻을 수 있다. 측정 장치(2800, 2900)는 서로 다른 농도의 표준 시료에 대한 시간에 따른 그래핀 기반 센서의 측정값의 변화(예: 전류 또는 전압의 변화)를 파악한다. 그리고 측정 장치(2800, 2900)는 농도별 표준 시료의 측정값의 변화와 검체의 측정값의 변화를 비교하여 검체의 농도 또는 세기를 파악할 수 있다.

- [194] 도 30은 본 개시에 따른 검체의 측정 방법을 나타내는 순서도를 도시한다.
- [195] 도 30 내지 도 33을 참조하여 설명될 검체의 측정 방법은, 설명의 편의를 위해, 도 27의 센서측정장치(2700)에 의해 수행되는 방법으로 가정하여 설명한다.
- [196] 도 30을 참조하면, 센서측정장치(2700)는 검체의 인가 전에 센서(2710)에 일정 범위의 전압을 인가한다(S3000). 예를 들어, 센서측정장치(2700)는 0~2V 사이의 전압을 일정 간격으로 일정 시간마다 센서에 인가할 수 있다.
- [197] 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 센서(2710)에 버퍼 용액을 인가한 후 전압을 인가할 수 있다. 버퍼 용액의 예로 PBS(Phosphate Buffered Saline), UTM(Universal Transport Medium), PBST(PBS+Tween-20), ADA(C₆H₁₀N₂O₅), AMP(C₄H₁₁NO), BES(C₆H₁₅NO₅S), Bicine(C₆H₁₃NO₄), BIS-TRIS(C₈H₁₉NO₅), Bis-Tris Propane(C₁₁H₂₆N₂O₆), Boric Acid(H₃BO₃), CAPS(C₆H₁₁NH(CH₂)₃SO₃H), CAPSO sodium salt(C₉H₁₈NO₄SNa), CHES(C₈H₁₇NSO₃), DIPSO(C₇H₁₇NO₆S), DIPSO monosodium salt(C₇H₁₆NO₆SNa), EDTA, Glycine-HCl, HEPBS(C₁₀H₂₂N₂O₄S), HEPES Free Acid(C₈H₁₈N₂O₄S), HEPES Sodium Salt(C₈H₁₇N₂O₄SNa), HEPPS(C₉H₂₀N₂O₄S), HEPPSO Free Acid(C₉H₂₀N₂O₅S), HEPPSO sodium salt(C₉H₁₉N₂O₅SNa), MES free acid monohydrate(C₆H₁₃NO₄S·H₂O), MES sodium salt(C₆H₁₂NNaO₄S), MOPS free acid(C₇H₁₅NO₄S), MOPS sodium salt(C₇H₁₄NO₄SNa), MOPSO FREE ACID(C₇H₁₅NO₅S), MOPSO SODIUM SALT(C₇H₁₄NO₅SNa), PIPES free acid(C₈H₁₈N₂O₆S₂), PIPES sodium salt(C₈H_{16.5}N₂ Na_{1.5}O₆S₂), POPSO free Acid(C₁₀H₂₂N₂O₈S₂), POPSO disodium salt(C₁₀H₂₀N₂O₈S₂Na₂), Satellite free Ampicillin, SDS(Sodium dodecyl sulfate)-Urea-Tris solution, Sodium acetate, SSC, SSPE, TAE, TAPS free acid(C₇H₁₇NO₆S), TAPS sodium salt(C₇H₁₇NO₆SNa), TAPSO free acid(C₇H₁₇NO₇S), TAPSO sodium salt(C₇H₁₆NO₇SNa), TBS (TRIS-BUFFER SALINE), TBST(TBS-Tween 20), TE Buffer(Tris-EDTA), TES free acid(C₆H₁₅NO₆S), TG Buffer(TRIS-GLYCINE), TG-SDS Buffer(TRIS-GLYCINE-SDS), Tris(C₄H₁₁NO₃), Tris-HCl, Tris Hydrochloride(C₄H₁₁NO₃·HCl), Tris-(hydroxymethyl) propane(C₆H₁₄O₃), TT-SDS(Tris-Tricine-SDS buffer), TTE(Tris-TAPS-EDTA Buffer) 등이 있다. 실시예에 따라 버퍼 용액은 생략될 수 있다. 버퍼 용액(3110)을 센서(3100)에 인가하는 방법의 일례는 도 31에 도시되어 있다.
- [198] 센서측정장치(2700)는 전압의 인가에 따른 센서(2710)의 저항 또는 전류를 측정한다(S3010). 이하에서는 검체 인가 전에 측정한 센서(2710)의 저항 또는 전류를 제1 측정값이라고 지칭한다. 센서측정장치(2700)는 일정 전압 범위 내에서 전압 별 제1 측정값을 파악한다. 예를 들어, 0~2V 사이에서 0.1V 간격으로 전압을 인가하였다면, 센서측정장치(2700)는 0.1V, 0.2V,...2V 등의 각 전압에 대한 센서의 저항 또는 전류를 나타내는 복수의 제1 측정값을 파악한다.

- [199] 센서(2710)에 검체를 인가한다(S3020). 일 실시예로, 센서(2710)에 버퍼 용액이 인가되어 있다면 버퍼 용액이 인가된 상태에서 검체를 센서(2710)에 인가한다. 센서측정장치(2700)는 검체 인가 후에 센서에 일정 범위의 전압을 인가한다(S3030). 검체 인가 전에 센서(2710)에 1차 인가한 전압과 검체 인가 후에 센서(2710)에 2차 인가한 전압은 동일한 조건의 전압일 수 있다. 예를 들어, 1차 인가한 전압이 0~2V 사이의 0.1V 단위의 전압이었다면, 2차 인가한 전압도 0~2V 사이의 0.1V 단위의 전압일 수 있다.
- [200] 센서측정장치(2700)는 전압의 인가에 따른 센서(2710)의 저항 또는 전류를 측정한다(S3040). 이하에서는 검체 인가 후에 측정한 센서(2710)의 저항 또는 전류를 제2 측정값이라고 지칭한다. 센서측정장치(2700)는 검체 인가 전의 제1 측정값과 검체 인가 후의 제2 측정값 사이의 차이를 파악한다(S3050). 즉, 센서측정장치(2700)는 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 차이를 전압 별로 파악한다. 예를 들어, 검체 인가 전에 0.2V 및 0.5V를 인가하여 측정한 복수의 제1 측정값과 검체 인가 후에 0.2V 및 0.5V를 인가하여 측정한 복수의 제2 측정값이 존재하면, 센서측정장치(2700)는 검체 인가 전 0.2V에 대한 제1 측정값과 검체 인가 후 0.2V에 대한 제2 측정값을 비교하고, 검체 인가 전 0.5V에 대한 제1 측정값과 검체 인가 후 0.5V에 대한 제2 측정값을 비교한다. 검체 인가 전후의 측정값의 비교 방법에 대해서는 추후 도 32를 참조하여 설명한다.
- [201] 일 실시예로, 센서측정장치(2700)는 제1 측정값과 제2 측정값을 화면에 출력하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 차이를 화면에 출력하거나 외부 기기로 전송할 수 있다.
- [202] 또 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 최대 차이를 화면에 출력하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 예를 들어, 0.2V 전압에 대한 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 차이가 A이고, 0.5V 전압에 대한 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 차이가 B(>A)이면, 센서측정장치(2700)는 차이가 더 큰 B를 출력할 수 있다.
- [203] 또 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 제2 측정값을 측정하는 과정을 반복 수행할 수 있다. 예를 들어, 센서측정장치(2700)는 t1 시점에 0~2V 사이의 전압을 일정 간격으로 센서(2710)에 입력하여 t1 시점의 복수의 제2 측정값을 획득할 수 있다. 센서측정장치(2700)는 t2 시점에 다시 0~2V 사이의 전압을 일정 간격으로 센서(2710)에 입력하여 t2 시점의 복수의 제2 측정값을 획득할 수 있다. 이와 같은 방법으로 tn 시점의 복수의 제2 측정값을 획득할 수 있다. 제2 측정값을 반복 측정하는 횟수 및 반복 측정 간격(즉, t2-t1)은 실시예에 따라 다양하게 변형 가능하다.
- [204] 센서측정장치(2700)는 t1 시점에 측정한 복수의 제2 측정값과 이전에 측정한 제1 측정값을 비교하여 최대 차이를 파악할 수 있다. 또한 센서측정장치(2700)는 t2 시점에 측정한 복수의 제2 측정값과 제1 측정값을 비교하여 최대 차이를 파악할

수 있다. 이와 같은 방법으로 t_n 시점에 측정한 복수의 제2 측정값과 제1 측정값을 비교하여 최대 차이를 파악할 수 있다. 예를 들어, t_1 시점에서는 0.5V에서 측정한 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 차이가 최대이고, t_2 시점에서는 0.2V에서 측정한 제1 측정값과 제2 측정값 사이의 차이가 최대일 수 있다. 즉, 각 측정 시점($t_1, t_2, \dots, t_n$)에서 제1 측정값과 제2 측정값의 최대 차이가 나타나는 인가 전압은 서로 상이할 수 있다.

[205] 일 실시예로, 센서측정장치(2700)는 제1 측정값과 제2 측정값의 차이를 다음과 같이 구할 수 있다.

[206] [수식3]

$$\text{차이(\%)} = \frac{(\text{제2측정값} - \text{제1측정값})}{\text{제1측정값}} * 100$$

[207] 여기서, 센서측정장치(2700)가 센서(2710)로부터 측정하는 값이 전류이면, 제1 측정값 및 제2 측정값은 센서의 전류값이다. 센서측정장치(2700)가 센서(2710)로부터 측정하는 값이 저항이면, 제1 측정값 및 제2 측정값은 센서의 저항값이다.

[208] 본 실시예는 검체를 센서(2710)에 인가하기 전에 측정한 제1 측정값과 검체를 센서에 인가한 후 측정한 제2 측정값을 파악하여 검체에 의한 센서의 영향을 정확하게 측정할 수 있다. 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 제2 측정값을 일정 시간 간격으로 반복 측정한 후 각 시점($t_1, t_2, \dots, t_n$)에서 구한 제2 측정값과 검체 인가 전의 제1 측정값 사이의 최대 차이의 변화를 이용하여 검체를 보다 정확하게 측정할 수 있다.

[209] 센서측정장치(2700)는 각 시점에서 파악된 제2 측정값과 검체 인가 전에 측정한 제1 측정값의 차이를 화면에 출력하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 각 시점에서 파악된 제2 측정값과 검체 인가 전에 측정한 제2 측정값 사이의 차이 중 최대 차이를 화면에 출력하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 예를 들어, 센서측정장치(2700)는 최대 차이를 숫자나 그래프(예: 막대바 또는 선 그래프 등)로 표시할 수 있다. 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 최대 차이의 변화를 기반으로 검체를 식별한 결과를 화면에 출력하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 또 다른 실시예로, 센서측정장치(2700)는 최대 차이가 나타나는 각 측정 시점의 인가 전압 등 다양한 값을 함께 출력할 수 있다.

[210] 도 32는 본 개시에 따른 검체의 측정 방법의 일례를 도시한다.

[211] 도 32를 참조하면, 센서측정장치(2700)는 검체 인가 전(3200)에 센서에 전압을 인가하여 센서의 전류 또는 저항을 포함하는 제1 측정값(3210)을 파악한다. 일 실시예로, 센서측정장치(2700)는 적어도 하나 이상의 전압을 센서에 인가하여 제1 측정값(3210)을 파악할 수 있다. 예를 들어, 센서측정장치(2700)는 0~2V 사이에서 일정 간격의 전압을 인가하여 복수의 제1 측정값(3210)을 파악할 수 있다.

[212] 센서측정장치(2700)는 검체 인가 후(3220)에 센서에 전압을 인가하여 센서의 전류 또는 저항을 포함하는 제2 측정값을 파악한다. 검체 인가 후에 센서에 입

력하는 전압은 검체 인가 전에 센서에 입력하는 전압과 동일하다. 센서측정장치(2700)는 제2 측정값을 측정하는 과정을 반복 수행할 수 있다. 예를 들어, 센서측정장치(2700)는 t_1 시점에 전압을 인가하여 제2-1 측정값(3230)을 파악한다. 또한 센서측정장치(2700)는 t_2 내지 t_n 시점에서 각각 제2-2 측정값(3232) 내지 제2-N 측정값(3234)을 파악한다.

- [213] 센서측정장치(2700)는 제1 측정값(3210)과 제2 측정값 사이의 차이를 전압 별로 파악한다. 예를 들어, 제1 측정값(3210) 및 제2 측정값이 모두 V_1 , V_2 , V_3 의 전압에 대하여 측정되었다고 가정한다. 센서측정장치(2700)는 제1 측정값(3210)과 t_1 시점의 제2 측정값(즉, 제2-1 측정값(3230))을 각 전압 별로 비교한다. t_1 시점에서 V_2 를 인가하여 측정한 제1 측정값(3210)과 제2-1 측정값(3230) 사이의 차이가 가장 크다면, 센서측정장치(2700)는 V_2 에서의 제1 측정값(3210)과 제2-1 측정값(3230) 사이의 차이를 t_1 시점에서의 최대 차이(3240)로 파악한다. 이와 같은 방법으로 t_2 시점에서 제1 측정값(3210)과 제2-2 측정값(3232) 사이의 전압 별 차이를 비교하여 최대 차이(3242)를 파악하고, t_n 시점에서 제1 측정값(3210)과 제2-N 측정값(3234) 사이의 전압 별 차이를 비교하여 최대 차이(3244)를 파악한다.
- [214] 도 33은 본 개시의 다양한 실시예에서 참조될 수 있는 측정 결과의 일례를 도시한다.
- [215] 도 33을 참조하면, 검체 인가 전에 센서에 일정 범위 내의 전압을 인가하여 전류를 측정한 결과를 나타내는 제1 그래프(3300)와 검체 인가 후에 센서에 일정 범위 내의 전압을 인가하여 전류를 측정한 결과를 나타내는 제2 그래프(3310)가 도시되어 있다. 그래프(3300, 3310)는 일정 간격의 전압 별 센서 측정값을 연결하여 곡선 형태로 나타낸 것이다. 또한 본 실시예의 그래프는 이해를 돕기 위한 하나의 예시일 뿐이고 센서 측정 결과는 다양한 종류의 그래프 또는 숫자 등으로 표시될 수 있다.
- [216] 일 실시예로, 도 32와 같이 제2 측정값을 파악하는 과정을 반복 수행하면, 제2 그래프(3310)는 복수 개 존재할 수 있다. 즉, t_1 시점에서 측정한 센서의 제2-1 측정값(3230)을 나타내는 제2-1 그래프, t_2 시점에서 측정한 센서의 제2-2 측정값(3232)을 나타내는 제2-2 그래프, t_n 시점에서 측정한 센서의 제2-N 측정값(3234)을 나타내는 제2-N 그래프가 존재할 수 있다. 다만 본 실시예에서는 설명의 편의를 위하여 하나의 그래프만 도시하고 있다.
- [217] 센서측정장치(2700)는 수학적 식을 이용하여 제1 그래프와 제2 그래프의 전압 별 센서 측정값 사이의 차이를 파악할 수 있다. 측정값 사이의 차이는 수학적 식으로 한정되는 것은 아니며 다양한 방법으로 구할 수 있다. 제1 그래프(3300)와 제2 그래프(3310)의 차이가 제3 그래프(3320)에 도시되어 있다. 예를 들어, 도 32를 참조하면, 제2-1 측정값(3230)과 제1 측정값(3210) 사이의 차이를 나타내는 그래프(3320)와 제2-2 측정값(3232)과 제1 측정값(3210) 사이의 차이를 나타내는 그래프(3330)가 각각 존재할 수 있다. 두 그래프(3330, 3340)에서 최대값 지점(3332, 3342)의 위치 변화를 기반으로 검체를 식별할 수 있다.

- [218] 도 34는 본 개시에 따른 측정 장치의 사용 예시를 도시한다.
- [219] 도 34를 참조하면, 측정 장치(3410)는 스마트폰(3400)에 연결하여 사용할 수 있는 통신부를 포함할 수 있다. 예를 들어, 측정 장치(3410)는 이어폰 단자, 충전 단자, 또는 블루투스 등을 통해 스마트폰에 연결될 수 있다. 측정 장치(3410)의 다양한 예시는 도 17 내지 도 29에 도시되어 있다.
- [220] 스마트폰(3400)은 측정 장치(3410)로부터 수신한 전압값을 화면에 표시하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 다른 실시예로, 스마트폰(3400)은 측정 장치(3410)로부터 수신한 전압값을 분석하여 얻은 결과를 화면에 표시하거나 외부 기기로 전송할 수 있다. 예를 들어, 후술될 도 35 내지 도 36의 분석 방법을 구현한 소프트웨어가 스마트폰(3400)에 존재할 수 있다.
- [221] 다른 실시예로, 측정 장치(3410)의 일측에는 QR 코드나 바코드 등 측정 장치를 식별할 수 있는 정보가 존재할 수 있다. 측정 장치(3410)에 QR 코드가 존재하는 경우, 스마트폰(3400)은 카메라를 통해 QR 코드를 인식하고, QR 코드의 값과 측정 장치(3410)의 전압값(또는 분석 결과)을 저장하거나 외부 기기로 전송할 수 있다.
- [222] 도 35는 본 개시에 따른 측정 결과를 분석하는 방법의 일례를 도시한다.
- [223] 도 35를 참조하면, 센서 어레이(3500)는 복수의 그래핀 기반 센서의 측정값(3510)(예: 전류 또는 전압)을 출력한다. 센서 어레이(3500)의 구조는 도 1 내지 도 15에 도시되어 있다. 다른 실시예로, 센서 어레이(3500)의 출력 단에는 출력 전류를 전압으로 변환하는 출력부가 존재할 수 있다. 다만 이하에서는 설명의 편의를 위하여 센서 어레이(3500)에서 출력되는 측정값은 출력부를 통해 일정 범위의 전압값으로 조정된 것으로 가정하여 설명한다. 즉, 측정값의 범위는 모두 일정 범위 내의 값으로 정규화된다.
- [224] 센서 어레이(3500)로부터 출력되는 복수의 측정값(3510)은 인공 신경망(3520)으로 입력된다. 인공 신경망(3520)은 CNN(Convolutional Neural Network) 등 종래의 다양한 딥러닝 모델로 구현될 수 있다. 인공 신경망(3520)은 학습 데이터를 이용하여 미리 학습된다. 예를 들어, 표준 시료를 센서 어레이로 측정한 복수의 측정값(3510)을 미리 알고 있는 표준 시료의 정보(예: 빛의 파장/세기, 바이오 분자의 종류/양, 가스 분자의 종류/양, 압력의 세기 등)로 라벨링한 학습 데이터를 이용하여 지도 학습 방법으로 인공 신경망(3520)을 훈련시킬 수 있다. 지도 학습 방법의 일례로서, 회귀 분석 모델의 학습 방법이 주요하게 사용될 수 있다. 이렇게 학습이 완료된 인공 신경망(3520)은 센서 어레이로 측정된 복수의 측정값(3510)을 입력 받으면, 분석 결과(3530)(예: 빛의 파장/세기, 바이오 분자의 종류/양, 가스 분자의 종류/양, 압력 의 세기 등)를 출력한다. 이하에서는 다양한 분석 방법에 대해 살펴본다.
- [225] 먼저, 분석 방법의 제1 실시예로, 센서 어레이(3500) 및 인공 신경망(3520)을 이용한 빛의 파장 또는 세기를 검출하는 방법을 살펴본다. 센서 어레이(3500)의 복수의 그래핀 기반 센서의 반응층은 서로 다른 파장의 빛을 감지하는 서로 다른

양자점의 물질을 포함한다. 예를 들어, 센서 어레이(3500)를 구성하는 복수의 그라핀 기반 센서의 반응층은 R,G,B에 각각 반응하는 양자점으로 구성할 수 있다. 미리 학습이 완료된 인공 신경망(3520)은 센서 어레이의 복수의 측정값(3510)을 입력 받으면, 가시 광선 영역의 파장을 분석 결과로 출력한다. 또 다른 예로, 복수의 그라핀 기반 센서의 반응층을 서로 다른 파장대의 적외선을 감지하는 양자점으로 구성하여 적외선 영역의 파장을 검출할 수 있다. 이 경우, 피부의 적외선 감지를 통해 혈중 글루코스의 양을 측정할 수 있다. 또 다른 예로, UV-IR 영역의 서로 다른 파장대를 검출할 수 있는 서로 다른 양자점을 센서 어레이(3500)의 각 그라핀 기반 센서의 반응층으로 구성하여, 신호의 파장을 분석할 수 있다.

- [226] 분석 방법의 제2 실시예로, 센서 어레이(3500) 및 인공 신경망(3520)을 이용하여 바이오 분자의 종류와 양을 검출할 수 있다. 센서 어레이(3500)의 복수의 그라핀 기반 센서의 반응층은 반응 정도가 서로 다른 바이오 분자(예: DNA, RNA, 항원, 항체, 효소 등)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 센서 어레이(3500)의 제1 그라핀 기반 센서의 반응층의 제1 항체가 다양한 바이러스(예: SARS-CoV-1, SARS-CoV-2, MERS-Cov 등)에 반응하는 정도와 제2 그라핀 기반 센서의 반응층의 제2 항체가 다양한 바이러스에 반응하는 정도(즉, 측정값의 신호)가 서로 다를 수 있다. 다시 말해, 제1 항체가 제1 바이러스에 반응하는 정도가 r_1 이고 제2 바이러스에 반응하는 정도가 r_2 이고, 제2 항체가 제1 바이러스 및 제2 바이러스에 반응하는 정도가 각각 r_3 및 r_4 로서 서로 다를 수 있다.
- [227] 센서 어레이(3500)가 검체에 대하여 복수의 측정값(3510)을 출력하면, 인공 신경망(3520)은 바이러스의 종류/양을 분석 결과로 출력한다. 이를 위해 인공 신경망(3520)은 다양한 종류의 바이러스에 대한 센서 어레이(3500)의 측정값(3510)을 바이러스의 종류 및/또는 양으로 라벨링한 학습 데이터로 미리 학습을 시킬 수 있다. 이와 같이 다양한 바이러스에 대한 반응 정도가 서로 다른 항체를 각 그라핀 기반 센서의 반응층으로 구성하고, 각 항체의 반응 정도에 따라 검체의 종류와 양을 검출할 수 있다. 따라서 센서 어레이(3500)에 포함된 그라핀 기반 센서의 숫자보다 더 많은 수의 바이러스를 검출할 수 있다. 또한 새로운 바이러스에 대하여 그라핀 기반 센서의 반응층의 각 항체의 반응 정도가 서로 다르다면, 센서 어레이(3500)의 반응층을 다시 만들 필요없이 기존의 센서 어레이(3500)를 그대로 사용하고 새로운 바이러스에 대한 학습 데이터로 인공 신경망을 학습시켜 새로운 바이러스의 검출이 가능하다.
- [228] 분석 방법의 제3 실시예로, 센서 어레이(3500) 및 인공 신경망(3520)을 이용하여 질병을 진단하는 방법을 살펴본다. 센서 어레이(3500)의 복수의 그라핀 기반 센서에는 DNA, RNA, 항원, 항체, 효소 등 다양한 물질로 반응층이 형성된다. 예를 들어, 센서 어레이(3500)의 제1 그라핀 기반 센서에는 DNA를 검출할 수 있는 물질의 반응층을 포함하고, 제2 그라핀 기반 센서에는 효소를 검출할 수 있는 물질의 반응층을 포함할 수 있다. 인공 신경망(3520)은 센서 어레이(3500)의 복수의 측정값(3510)을 입력 받으면 질병을 예측하여 출력한다. 즉, 다양한 측정값의 조

합을 통해 특정 질병을 진단할 수 있다. 이를 위해, 인공 신경망(3520)은 특정 질병을 진단할 수 있는 검체를 센서 어레이(3500)에 입력하여 얻은 복수의 측정값을 질병명 이름으로 라벨링한 학습 데이터로 미리 학습시킬 수 있다.

- [229] 도 36은 본 개시의 다양한 실시예에서 참조될 수 있는 인공 신경망의 일례를 도시한다.
- [230] 도 36을 참조하면, 인공 신경망(3600)은 입력층(3610), 하나 이상의 은닉층(3620) 및 출력층(3630)을 포함한다. 하나 이상의 은닉층(3620)에는 하나 이상의 네트워크 노드(3621)가 포함된다. 하나 이상의 네트워크 노드(3621)는, 인간의 뉴런이 시냅스(synapse)를 통하여 신호를 주고 받는 뉴런의 시냅틱(synaptic) 활동을 모의함으로써, 서로 간의 연결 관계를 가진다. 예를 들어, 인공 신경망(3600)에서 하나 이상의 네트워크 노드(3621)는 서로 다른 깊이의 레이어(예: 은닉층)에 위치하면서 컨볼루션(convolution) 연결 관계에 따라 데이터를 주고 받는다. 이외에도 다양한 연결 관계(예: 순환(recurrent) 등)을 갖는 네트워크 노드들이 인공 신경망(3600)에 포함된다. 이러한 네트워크 노드들 간의 연결 관계는 각 은닉층의 계층마다 매핑 테이블(3641, 3642)로서 정의될 수 있다. 이러한 매핑 테이블(3641, 3642)의 셋은 매핑 테이블 셋(3640)으로서 간략히 호칭될 수 있다.
- [231] 상술한 인공 신경망(3600)의 학습으로써, 매핑 테이블 셋(3640)이 결정된다. 일 실시예에서, 매핑 테이블 셋(3640)은 다양한 형태의 내부 회로로 구현될 수 있다. 이렇게 하드웨어로 구현된 내부 회로는 도 28 및 도 29의 측정 장치(2500, 2600)에 포함될 수 있다. 다른 일 실시예에서, 매핑 테이블 셋(3640)은 다양한 형태의 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 이렇게 소프트웨어로 구현된 컴퓨터 프로그램은 도 28 및 도 29의 측정 장치(2500, 2600)에 포함될 수 있다. 이로써, 인공 신경망(3600)은 센서 어레이의 복수의 측정값을 입력 받아 매핑 테이블 셋(3640)에 결정된 연산에 따라 분석 결과(예: 빛의 파장/세기, 바이오 분자의 종류/양, 가스 분자의 종류/양, 압력 의 세기 등)를 출력한다.
- [232] 본 개시의 순서도에서, 방법 또는 알고리즘의 동작은 순차적인 순서로 설명되었지만, 순차적으로 수행되는 것 외에, 임의로 조합될 수 있는 순서에 따라 수행될 수도 있다. 본 개시의 순서도에 관한 설명은, 방법 또는 알고리즘에 변화 또는 수정을 가하는 것을 제외하지 않으며, 임의의 동작이 필수적이거나 바람직하다는 것을 의미하지 않는다. 일 실시예에서, 적어도 일부의 동작이 병렬적, 반복적 또는 휴리스틱하게 수행될 수 있다. 다른 일 실시예에서, 적어도 일부의 동작이 생략되거나, 다른 동작이 추가될 수 있다.
- [233] 본 개시의 다양한 실시예는, 컴퓨팅 장치가 읽을 수 있는 저장매체(MRSM, Machine-Readable Storage Medium)에 소프트웨어로 구현될 수 있다. 소프트웨어는 본 개시의 다양한 실시예를 구현하기 위한 소프트웨어일 수 있다. 소프트웨어는 본 개시가 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 본 개시의 다양한 실시예로부터 추론될 수 있다. 예를 들어 소프트웨어는 컴퓨팅 장치가 읽을 수 있는 명령을 포함하는 컴퓨터 프로그램일 수 있다. 컴퓨팅 장치는 저장 매체로부터 호출

된 명령에 따라 동작이 가능한 장치로서, 예를 들어 전자 장치와 상호 교환적으로 지칭될 수 있다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치의 프로세서는 호출된 명령을 실행하여, 컴퓨팅 장치의 구성요소들이 이 명령에 대응하는 기능을 수행하게 할 수 있다. 저장 매체는 기기에 의해 읽혀질 수 있는, 정보가 저장되는 모든 종류의 기록 매체를 의미할 수 있다. 저장 매체는, 예를 들어 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크 또는 광 정보 저장장치 등을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 저장매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 등에 분산된 형태로서 구현될 수 있다. 이때, 소프트웨어는 컴퓨터 시스템 등에 분산되어 저장되고, 실행될 수 있다. 다른 일 실시예에서, 저장 매체는 비일시적(non-transitory) 저장매체일 수 있다. 비일시적 저장매체는, 정보가 반영구적 또는 임시적으로 저장되는 것과 무관하게 실재하는 매체를 의미하며, 일시적(transitory)으로 전파되는 신호를 포함하지 않는다.

- [234] 이상 다양한 실시예에 의해 본 개시에 따른 기술적 사상이 설명되었지만, 본 개시에 따른 기술적 사상은 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 이해할 수 있는 범위에서 이루어질 수 있는 다양한 치환, 변형 및 변경을 포함한다. 또한, 그러한 치환, 변형 및 변경은 첨부된 청구범위 내에 포함될 수 있는 것으로 이해되어야 한다.

청구범위

- [청구항 1] 기관;
 상기 기관의 일부 영역에 불순물을 도핑하여 형성된 도핑영역;
 상기 도핑영역의 일부를 제외하고 상기 기관 상에 적층된 부도체층;
 상기 도핑영역 상에 적층되는 그래핀층;
 상기 그래핀층에 연결된 제1 전극; 및
 상기 도핑영역에 연결된 제2 전극을 포함하는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 도핑영역은,
 제1 농도로 도핑된 제1 도핑영역; 및
 제2 농도로 도핑된 제2 도핑영역을 포함하고,
 상기 제1 농도는 상기 제2 농도 이하이고,
 상기 그래핀층은 상기 제1 도핑영역에 연결되고,
 상기 제2 전극은 상기 제2 도핑영역에 연결되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 상기 제1 전극은,
 상기 그래핀층의 둘레를 감싸는 형태로 형성되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
 상기 제2 전극은,
 상기 그래핀층과 마주보는 상기 기관의 아래쪽에 위치하는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
 상기 제1 전극과 이격된 위치에서 상기 부도체층 및 상기 기관을 관통하
 여 형성된 하나 이상의 비아전극을 더 포함하고,
 상기 제2 전극은 상기 하나 이상의 비아전극과 연결되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 6] 제1항에 있어서,
 상기 제2 전극은,
 상기 부도체층을 관통하여 상기 도핑영역과 연결되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
 상기 제1 전극과 이격된 위치에서 상기 그래핀층에 접한 제3 전극을 더 포
 함하는,
 그래핀 기반 센서.

- [청구항 8] 제1항에 있어서,
 상기 기판을 제1 깊이 및 제1 너비로 식각하여 형성된 저장부; 및
 상기 부도체층을 제2 깊이 및 제2 너비로 식각하여 형성된, 상기 저장부와
 상기 그래핀층 사이를 연결하는 채널부를 더 포함하고,
 상기 제2 깊이 및 상기 제2 너비는 각각 상기 제1 깊이 및 상기 제1 너비보
 다 작은,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 9] 제1항에 있어서,
 복수 개의 도핑영역이 상기 기판 상에 이격되어 배치되고,
 상기 부도체층은 복수 개의 도핑영역이 각각 노출되도록 적층되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 10] 제9항에 있어서,
 상기 그래핀층은 상기 복수 개의 도핑영역에 대응되도록 적층되고,
 상기 복수 개의 도핑영역에 각각 대응되는 복수 개의 제1 전극을 포함하
 고,
 상기 제2 전극은 상기 복수 개의 도핑영역에 공통으로 연결되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 11] 제9항에 있어서,
 상기 그래핀층은 상기 복수 개의 도핑영역에 걸쳐 적층되고,
 상기 복수 개의 도핑영역에 각각 연결되는 복수 개의 제2 전극을 포함하
 고,
 상기 제1 전극은 상기 복수 개의 도핑영역에 공통으로 연결되는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 12] 제10항 또는 제11항에 있어서,
 상기 복수 개의 도핑영역의 그래핀층을 통해 측정된 값을 출력하는 멀티
 플렉서를 더 포함하는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 13] 제1항에 있어서,
 상기 그래핀층의 표면에 위치하며, 상기 그래핀층에 전하를 유도하는 물
 질을 포함하는 반응층을 더 포함하는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 14] 기판;
 상기 기판에 적층된 2차원 반도체층;
 상기 2차원 반도체층에 걸쳐 적층된 그래핀층;
 상기 2차원 반도체층에 접하여 적층된 제1 전극; 및
 상기 그래핀층에 접하여 적층된 제2 전극을 포함하는,
 그래핀 기반 센서.
- [청구항 15] 제14항에 있어서,

- 상기 그래핀층의 표면에 위치하며, 상기 그래핀층에 전하를 유도하는 물질을 포함하는 반응층을 포함하는,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 16] 제14항에 있어서,
복수 개의 2차원 반도체층이 상기 기판 상에 이격되어 배치되고,
상기 그래핀층은 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 걸쳐 적층되고,
복수 개의 제1 전극은 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 각각 위치하는,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 17] 제16항에 있어서,
상기 복수 개의 2차원 반도체층을 구성하는 2차원 물질 중 일부와 다른 일부는 서로 상이한,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 18] 제16항에 있어서,
상기 복수 개의 2차원 반도체층은 제1 방향으로 배치되고,
상기 그래핀층은 상기 제1 방향과 수직인 제2 방향으로 배치되는,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 19] 제14항에 있어서,
상기 제1 전극과 이격되어 상기 2차원 반도체층과 접하여 적층된 제3 전극을 더 포함하는,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 20] 제14항에 있어서,
상기 제2 전극과 이격되어 상기 그래핀층과 접하여 적층된 제4 전극을 더 포함하는,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 21] 제14항에 있어서,
복수 개의 2차원 반도체층이 방사형으로 배치되고,
상기 그래핀층은 원형의 띠 모양으로 상기 복수 개의 2차원 반도체층을 가로질러 배치되고,
상기 복수 개의 2차원 반도체층에 공통으로 연결된 제3 전극을 더 포함하고,
복수 개의 제1 전극은 상기 복수 개의 2차원 반도체층에 각각 연결되는,
그래핀 기반 센서.
- [청구항 22] 기판에 형성된 도핑영역 또는 기판에 적층된 2차원 반도체층 상에 그래핀층을 적층한 그래핀 기반 센서; 및
상기 그래핀 기반 센서의 출력 전류를 전압으로 변환하여 출력하는 출력부를 포함하는,
측정 장치.
- [청구항 23] 제22항에 있어서,

상기 출력부는,
 상기 그래핀 기반 센서의 출력 전류를 전압으로 변환하여 출력하는 전치 증폭부; 및
 상기 전치증폭부의 출력 전압을 일정 범위로 조정하는 피드백부를 포함하는,
 측정 장치.

[청구항 24] 제22항에 있어서,
 상기 출력부의 출력 전압을 표시하는 표시부; 및
 상기 출력부의 출력 전압을 외부로 전송하는 통신부를 더 포함하는,
 측정 장치.

[청구항 25] 제22항에 있어서,
 상기 그래핀 기반 센서를 1차원 또는 2차원으로 배열한 센서 어레이; 및
 상기 센서 어레이를 구성하는 복수 개의 그래핀 기반 센서와 연결된 멀티플렉서를 포함하고,
 상기 출력부는 상기 멀티플렉서를 통해 각 그래핀 기반 센서의 출력 전류를 선택적으로 입력 받는,
 측정 장치.

[청구항 26] 제22항에 있어서,
 검체가 상기 그래핀 기반 센서의 반응층의 물질과 반응하여 나타나는 측정값을 입력 받아 분석값을 출력하는 인공 신경망에 대응되는 매핑 테이블 셋이 구현된 내부 회로를 더 포함하는,
 측정 장치.

[청구항 27] 제22항에 있어서,
 그래핀 기반 센서에 기 정의된 일정 범위 내에서 전압을 인가하는 전압 인가부; 및
 검체의 인가 전에 전압의 인가에 따른 상기 그래핀 기반 센서의 저항 또는 전류의 제1 측정값을 파악하고, 검체의 인가 후에 전압의 인가에 따른 상기 그래핀 기반 센서의 저항 또는 전류의 제2 측정값을 파악하여 출력하는 측정부를 더 포함하는,
 측정 장치.

[청구항 28] 제27항에 있어서,
 상기 측정부는,
 상기 제1 측정값과 상기 제2 측정값 사이의 전압 별 차이 중 최대 차이를 포함하는 결과값을 출력하는,
 측정 장치.

[청구항 29] 제27항에 있어서,
 상기 측정부는,

- 일정 시간 간격으로 상기 제2 측정값을 측정하는 과정을 반복 수행하고,
반복 수행 시마다 전압의 인가에 따른 센서의 저항 또는 전류의 제2 측정
값을 출력하는,
측정 장치.
- [청구항 30] 제29항에 있어서,
상기 측정부는,
상기 반복 수행 시마다 상기 제1 측정값과 상기 제2 측정값 사이의 최대
차이의 변화를 파악하여 출력하는,
측정 장치.
- [청구항 31] 기판에 도핑된 반도체 영역 또는 2차원 반도체 상에 그래핀 층을 적층한
복수 개의 센서들을 포함하는 센서 어레이를 이용하는 분석 방법에 있어
서,
상기 센서 어레이의 복수의 그래핀 기반 센서로부터 복수의 측정값을 수
신하는 단계; 및
인공 신경망에 상기 복수의 측정값을 수신하여, 매핑 테이블 셋에 결정된
연산을 이용하여 분석 결과를 획득하는 단계를 포함하고,
분석 방법.
- [청구항 32] 제31항에 있어서,
상기 복수의 그래핀 기반 센서의 그래핀층 상에 도포된 반응층의 물질은
일부가 다른 일부와 서로 상이한 것인,
분석 방법.
- [청구항 33] 제31항에 있어서,
상기 복수의 그래핀 기반 센서의 반응층의 물질은, 양자점, 바이오 분자,
가스에 반응하는 분자 및 압력에 반응하는 구조물 중 적어도 하나인,
분석 방법.