

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20090083380/R32-2008-000-10082-0

부처명 한국과학재단/한국과학재단

연구관리전문기관

연구사업명 원천기술개발사업/세계적수준의연구중심대학육성사업

연구과제명 유무기 나노재료의 복합체 소자 구현기술 개발(총괄과제명:분자제어 NIT 융복합 소자기
술개발)/플렉서블 나노시스템 기반기술

기여율

주관기관 한국화학연구원/고려대학교 산학협력단

연구기간 2009년 07월 10일 ~ 2010년 06월 30일/2008년 12월 01일 ~ 2009년 10월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

반도체 기판위에 형성되고, 외부 환경에 노출되면 측정 대상 물질의 양에 따라서 전도도가 변화되는 하나 이상의 나노 물질;

상기 나노 물질의 복수의 영역에 각각 형성되어, 상기 나노 물질상에 하나 이상의 저항 영역을 정의하는 복수의 전극층;

상기 나노 물질에 형성된 저항 영역 중 일부 저항 영역만이 외부 환경에 노출되도록, 상기 나노 물질 및 상기 복수의 전극층 위에 형성된 유전체층; 및

상기 유전체층 중 저항 영역에 대응되는 위치에 형성된 적어도 하나 이상의 게이트층;을 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 게이트층에 인가되는 전압에 따라서 상기 게이트층 아래에 위치한 나노 물질의 저항 영역의 저항값을 조절하여 대상 물질을 측정하는 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 저항 영역은 휘트스톤 브리지 회로의 저항을 각각 구성하고,

상기 외부로 노출된 저항 영역 이외의 저항 영역의 저항값을 게이트층에 전압을 인가하여 조절하고, 상기 전극층간의 전압을 측정하여, 상기 외부로 노출된 저항 영역의 저항값을 측정함으로써, 대상 물질을 측정하는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 복수의 전극층은 단일한 나노 물질에 일렬로 형성된 5개의 전극층(제 1 전극층 내지 제 5 전극층)으로 형성되고,

상기 유전체층은 제 2 전극층 내지 상기 제 5 전극층 사이에 형성되어,

상기 제 1 전극층과 상기 제 2 전극층 사이에 위치한 나노 물질만이 외부로 노출되는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 전극층과 상기 제 5 전극층은 서로 전기적으로 연결되고,

제 3 전극층과 상기 제 1 전극층에 전원 단자가 각각 연결되며,

상기 제 2 전극층 및 상기 제 4 전극층에 전압계가 연결되어, 상기 외부로 노출된 저항 영역의 저항을 측정함으로써 대상 물질을 측정하는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 6

제 3 항에 있어서,

상기 나노 물질은 서로 이격된 제 1 나노 물질 및 제 2 나노 물질로 구성되고,

상기 제 1 나노 물질의 상부에는 제 1 전극층 내지 제 3 전극층이 형성되고,

상기 제 2 나노 물질의 상부에는 제 4 전극층 내지 제 6 전극층이 형성되어, 상기 제 1 나노 물질 및 상기 제 2 나노 물질에 각각 2개씩의 저항 영역이 형성되고,

상기 제 2 전극층 및 상기 제 3 전극층 사이 영역과, 상기 제 2 나노 물질 상부에 형성된 전극층들 사이 영역에 대응되는 유전체층 위에 게이트층이 형성되며,

상기 제 1 전극층과 상기 제 2 전극층 사이에 위치한 나노 물질만이 외부로 노출되는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 전극층과 상기 제 4 전극층이 서로 전기적으로 연결되고, 상기 제 3 전극층과 상기 제 6 전극층이 서로 전기적으로 연결되며,

상기 제 3 전극층과 상기 제 4 전극층에 전원 단자가 각각 연결되며,

상기 제 2 전극층 및 상기 제 5 전극층에 전압계가 연결되어, 상기 외부로 노출된 저항 영역의 저항을 측정함으로써 대상 물질을 측정하는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 8

제 3 항에 있어서,

상기 나노 물질은 서로 이격된 제 1 나노 물질 및 제 2 나노 물질로 구성되고,

상기 제 1 나노 물질의 상부에 제 1 전극층 및 제 2 전극층이 형성되어, 상기 제 1 나노 물질에 하나의 저항 영역이 형성되고,

상기 제 2 나노 물질의 상부에는 제 3 전극층 내지 제 6 전극층이 형성되어, 각 전극층 사이마다 세 개의 저항 영역이 형성되며,

상기 제 2 나노 물질 상부에 형성된 전극층들 사이 영역에, 상기 제 2 나노 물질 위에 형성된 유전체층 위에 게이트층이 형성되고,

상기 제 1 전극층과 상기 제 2 전극층 사이에 위치한 나노 물질만이 외부로 노출되는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 9

제 3 항에 있어서,

상기 나노 물질은 서로 이격된 4개의 나노 물질로 구성되고,

나노 물질의 중심이 드러나도록, 상기 각 나노 물질의 양 말단에 전극층이 형성되어 상기 각 나노 물질에 저항 영역이 형성되고,

상기 4개의 나노 물질 중 3개의 나노 물질위에 유전체층과 게이트층이 형성되며, 나머지 하나의 나노 물질은 외부로 노출되는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 나노 물질은 나노선(nano wire) 또는 나노막대(nano rod) 중 어느 하나로 형성된 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 11

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체층은 Al_2O_3 , HfO_2 , SiO_2 , Si_3N_4 , La_2O_3 , Ta_2O_5 , ZrO_2 중 어느 하나의 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템.

청구항 12

반도체 기판위에 외부 환경에 노출되면 측정 대상 물질의 양에 따라서 전도도가 변화되는 하나 이상의 나노 물질을 형성하는 단계;

상기 나노 물질의 복수의 영역에 각각 형성되어, 상기 나노 물질상에 하나 이상의 저항 영역을 정의하는 전극층을 형성하는 단계;

상기 나노 물질에 형성된 저항 영역 중 일부 저항 영역만이 외부 환경에 노출되도록, 상기 나노 물질 및 상기 복수의 전극층 위에 유전체층을 형성하는 단계; 및

상기 유전체층 중 저항 영역에 대응되는 위치에 적어도 하나 이상의 게이트층을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 재료를 이용한 센서 시스템의 제조 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 나노 재료를 이용한 센서 시스템 및 그 제조 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 나노 재료를 이용한 휘트스톤 브리지 회로를 포함하는 센서 시스템 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 센서기술이 발전함에 따라서 다양한 종류의 센서들이 개발되고 있다. 센서의 성능을 평가하는 다양한 요소들 중 하나로서, 센서의 민감도(sensitivity)를 들 수 있다. 센서의 민감도가 크면 검출하고자 하는 대상 물질이 소량 존재하여 반응해도 충분히 센서에 검출될 수 있고 반응속도 또한 빠르다는 의미이다. 고성능 센서로의 발전방향 중의 하나인 이러한 민감도 지수를 높이는 방향으로 센서연구가 진행되어 오고 있고 신뢰도 향상에 관한 아이디어도 계속 제시되고 있는 실정이다.

[0003] 현재, 나노단위(nanoscale)의 길이를 가지는 재료를 반응물질로 사용하여 센서의 민감도를 높이는 연구가 진행되고 있다. 나노단위의 재료는 크기가 나노단위이므로 부피 대 표면면적 비가 기존의 벌크 재료일 때보다 훨씬 증가하여, 표면반응에 영향을 미치는 작은 환경적 변화에도 그 재료의 전기적 특성이 눈에 띄게 변화하는 특징을 나타낸다.

[0004] 여기서, 나노단위의 재료라 함은 크기가 나노단위로써, 0차원 재료의 나노닷(nanodot) 등, 1차원 재료의 나노선(nanowire), 나노막대(nanorod), 나노튜브(nanotube) 등, 2차원 재료의 그래핀(graphene) 등을 말한다. 그리고 환경적 변화라 함은 나노재료 주위의 가스 상태 변화, 온도 변화, 빛의 변화, 특정 바이오 물질 존재 유무 등을 말한다.

[0005] 센서의 민감도를 높이기 위해 작은 환경적 변화에도 눈에 띄는 특성변화를 보이는 나노재료의 특징을 센서에 이용한다. 즉, 나노재료를 센서의 반응물질로 사용한다는 것이다. 환경적 변화에 의한 나노재료의 특성 변화라는 것은 나노 재료의 전도도가 변화한다는 의미이므로, 그것을 이용하여 특정 가스, 바이오 물질, 혹은 UV(ultra violet) 검출 등의 센서에 사용하기 위해 연구가 진행되고 있는 실정이다.

[0006] 나노재료로 이루어진 센서의 경우, 외부환경 변화에 극히 민감한 특성을 나타내고, 이러한 특성은 센서마다의 큰 편차를 나타내게 되어, 외부 변화에 따른 나노재료의 전기적 성질 변화를 추정하는 데 있어 신뢰성 문제가 생기게 된다.

[0007] 또한, 시간에 따라서 센서 특성의 열화가 나타나고, 센서에 이용된 재료의 반응정도에 차이가 발생하여 지속적으로 정확한 대상 물질의 측정이 어려우므로, 이러한 특성의 열화 및 반응성 정도의 차이를 조절하거나 보상할 수 있는 확증적인 센싱 방법 및 이를 구현할 수 있는 센서 시스템이 절실히 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 반응성이 뛰어난 나노 물질을 반응 물질로 이용한 센서 시스템을 제공하는 것으로서, 특히, 시간에 따른 성능 열화 및 주변 잡음으로 인한 측정값 오차를, 측정에 이용되는 센서 내부의 저항값을 변화시켜 자동으로 보정할 수 있는 센서 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노 재료를 이용한 센서 시스템은, 반도체 기판위에 형성되고, 외부 환경에 노출되면 측정 대상 물질의 양에 따라서 전도도가 변화되는 하나 이상의 나노 물질; 상기 나노 물질의 복수의 영역에 각각 형성되어, 상기 나노 물질상에 하나 이상의 저항 영역을 정의하는 복수의 전극층; 상기 나노 물질에 형성된 저항 영역 중 일부 저항 영역만이 외부 환경에 노출되도록, 상기 나노 물질 및 상기 복수의 전극층 위에 형성된 유전체층; 및 상기 유전체층 중 저항 영역에 대응되는 위치에 형성된 적어도 하나 이상의 게이트층을 포함한다.

[0010] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 게이트층에 인가되는 전압에 따라서 상기 게이트층 아래에 위치한 나노 물질의 저항 영역의 저항값을 조절하여 대상 물질을 측정할 수 있다.

[0011] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 저항 영역은 휘트스톤 브리지 회로의 저항을 각각 구성하고, 상기 외부로 노출된 저항 영역 이외의 저항 영역의 저항값을 게이트층에 전압을 인가하여 조절하고, 상기 전극층간의 전압을 측정하여, 상기 외부로 노출된 저항 영역의 저항값을 측정함으로써, 대상 물질을 측정할 수 있다.

[0012] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 복수의 전극층은 단일한 나노 물질에 일렬로 형성된 5개의 전극층(제 1 전극층 내지 제 5 전극층)으로 형성되고, 상기 유전체층은 제 2 전극층 내지 상기 제 5 전극층 사이에 형성되어, 상기 제 1 전극층과 상기 제 2 전극층 사이에 위치한 나노 물질만이 외부로 노출될 수 있다.

[0013] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 제 1 전극층과 상기 제 5 전극층은 서로 전기적으로 연결되고, 제 3 전극층과 상기 제 1 전극층에 전원 단자가 각각 연결되며, 상기 제 2 전극층 및 상기 제 4 전극층에 전압계가 연결되어, 상기 외부로 노출된 저항 영역의 저항을 측정함으로써 대상 물질을 측정할 수 있다.

[0014] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 나노 물질은 서로 이격된 제 1 나노 물질 및 제 2 나노 물질로 구성되고, 상기 제 1 나노 물질의 상부에는 제 1 전극층 내지 제 3 전극층이 형성되고, 상기 제 2 나노 물질의 상부에는 제 4 전극층 내지 제 6 전극층이 형성되어, 상기 제 1 나노 물질 및 상기 제 2 나노 물질에 각각 2개씩의 저항 영역이 형성되고, 상기 제 2 전극층 및 상기 제 3 전극층 사이 영역과, 상기 제 2 나노 물질 상부에 형성된 전극층들 사이 영역에 대응되는 유전체층 위에 게이트층이 형성되며, 상기 제 1 전극층과 상기 제 2 전극층 사이에 위치한 나노 물질만이 외부로 노출될 수 있다.

[0015] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 제 1 전극층과 상기 제 4 전극층이 서로 전기적으로 연결되고, 상기 제 3 전극층과 상기 제 6 전극층이 서로 전기적으로 연결되며, 상기 제 3 전극층과 상기 제 4 전극층에 전원 단자가 각각 연결되며, 상기 제 2 전극층 및 상기 제 5 전극층에 전압계가 연결되어, 상기 외부로 노출된 저항 영역의 저항을 측정함으로써 대상 물질을 측정할 수 있다.

[0016] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 나노 물질은 서로 이격된 제 1 나노 물질 및 제 2 나노 물질로 구성되고, 상기 제 1 나노 물질의 상부에 제 1 전극층 및 제 2 전극층이 형성되어, 상기 제 1 나노 물질에 하나의 저항 영역이 형성되고, 상기 제 2 나노 물질의 상부에는 제 3 전극층 내지 제 6 전극층이 형성되어, 각 전극층 사이마다 세 개의 저항 영역이 형성되며, 상기 제 2 나노 물질 상부에 형성된 전극층들 사이 영역에, 상기 제 2 나노 물질 위에 형성된 유전체층 위에 게이트층이 형성되고, 상기 제 1 전극층과 상기 제 2 전극층 사이에 위치한 나노 물질만이 외부로 노출될 수 있다.

[0017] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 나노 물질은 서로 이격된 4개의 나노 물질로 구성되고, 나노 물질의 중심이 드러나도록, 상기 각 나노 물질의 양 말단에 전극층이 형성되어 상기 각 나노 물질에 저항 영역이 형성되고, 상기 4개의 나노 물질 중 3개의 나노 물질위에 유전체층과 게이트층이 형성되며, 나머지 하나의 나노 물질은 외부로 노출될 수 있다.

[0018] 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 나노 물질은 나노선(nano wire) 또는 나노막대(nano rod) 중 어느 하나로 형성될 수 있다.

[0019] 또한, 또한, 상술한 나노 재료를 이용한 센서 시스템에서는, 상기 유전체층은 Al_2O_3 , HfO_2 , SiO_2 , Si_3N_4 , La_2O_3 , Ta_2O_5 , ZrO_2 중 어느 하나의 물질로 형성될 수 있다.

[0020] 한편, 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노 재료를 이용한 센서 시스템의 제조 방법은, 반도체 기판위에 외부 환경에 노출되면 측정 대상 물질의 양에 따라서 전도도가 변화되는 하나 이상의 나노 물질을 형성하는 단계; 상기 나노 물질의 복수의 영역에 각각 형성되어, 상기 나노 물질상에 하나 이상의 저항 영역을 정의하는 전극층을 형성하는 단계; 상기 나노 물질에 형성된 저항 영역 중 일부 저항 영역만이 외부 환경에 노출되도록, 상기 나노 물질 및 상기 복수의 전극층 위에 유전체층을 형성하는 단계; 및 상기 유전체층 중 저항 영역에 대응되는 위치에 적어도 하나 이상의 게이트층을 형성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0021] 본 발명은 환경 변화에 대한 반응성이 뛰어난 나노 물질을 반응 물질로 이용함으로써, 보다 미세한 환경 변화에 대해서도 신뢰할 수 있는 측정 결과를 얻을 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 나노 물질을 센서에 많이 이용되는 브리지회로의 저항으로 이용하고, 대상 물질의 측정에 이용되는 나노 물질 영역을 제외한 나머지 영역은 유전체로 매립하여 외부 환경에 노출되지 않도록 보호함으로써, 시간이 지남에 따라서 발생하는 센서의 성능 열화를 최소화하였다.

[0023] 또한, 본 발명은 상기와 같이, 외부 환경에 노출되지 않도록 나노 물질 위에 유전체를 형성하고, 그렇게 형성된 유전체를 FET(Field Effect Transistor)의 게이트 유전체로 사용하여, 게이트 전극에 전압을 인가하여 나노 물질에 생성되는 채널의 형성을 조절함으로써, 나노 물질의 저항을 변화시킬 수 있다. 따라서, 휘트스톤 브리지 회로의 저항을 구성하는 나노 물질의 저항을 사용자의 의도대로 설정할 수 있으며, 이에 따라서 성능 열화에 대한 저항값을 보정함으로써, 성능 열화 및 외부 잡음에 의한 측정값의 변화를 배제하고, 실제로 외부 환경 변화에 의해서 변화된 저항값만을 측정하고, 저항값에 대응되는 대상 물질의 존재 여부 및 농도를 측정할 수 있으므로, 보다 신뢰성 있는 측정이 가능하다.

[0024] 또한, 본 발명은 휘트스톤 브리지 회로의 내부 평형 조건을 자동으로 조절할 수 있는 회로 장치와 하나의 반도체 칩에 일체로 구현되어, 사용자가 일일이 조건을 설정할 필요없이 자동으로 오차를 보정하고, 대상 물질을 측정할 수 있는 센서 시스템을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1 은 본 발명의 센서 시스템의 구성을 개념적으로 설명하는 도면이다.

도 2a 는 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 휘트스톤 브리지 회로를 이용한 센서 시스템을 도시한 평면도이다.

도 2b 은 도 2a에 도시된 센서 시스템의 단면도이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 제 2 실시예에 따른 센서 시스템의 구성을 도시한 평면도이다.

도 4 는 본 발명의 다른 실시예에 따른 센서 시스템의 구성을 도시하는 평면도이다.

도 5 는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 센서 시스템의 구성을 도시하는 평면도이다.

도 6은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따라서 제조된 센서 시스템의 광학 이미지를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 설명한다.

[0027] 도 1 은 본 발명의 센서 시스템의 구성을 개념적으로 설명하는 도면이다. 도 1을 참조하면, 본 발명의 센서 시스템은 종래의 센서들이 상용 저항을 이용하여 휘트스톤 브리지 회로를 구현한 것과 달리, 나노 물질을 이용하여 휘트스톤 브리지 회로의 저항을 구현하였다.

[0028] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 센서 시스템은 크게, 휘트스톤 브리지 회로부와 휘트스톤 브리지 회로부에 형성된 게이트층에 인가되는 전압을 조절하는 조정 회로부로 구성된다.

[0029] 특히, 휘트스톤 브리지 회로부에서, 나노 물질을 이용하여 4개의 저항(R_1 , R_2 , R_3 , R_4)을 구현하고, 그 중 하나

(R1)는 외부 환경에 노출시켜 대상 물질을 측정하고, 나머지 세 개의 저항(R2, R3, R4)을 유전체층으로 매립하여 외부 노출로부터 보호하는 한편 상부에 위치한 게이트층에 전압을 인가하여 전계를 발생시킴으로써, 나노 물질의 저항을 조절할 수 있다.

[0030] 또한, 본 발명의 휘트스톤 브리지 회로부는, B 노드 및 D 노드 간에 전압차가 0이 되는 평형상태가 되도록, 게이트층에 전압을 인가하여 나노 물질의 저항값을 조절하는 조정 회로부와 함께 연결되어, 자동으로 전류 평형을 유지하고, 환경 변화에 따른 오차등을 보정하면서 대상 물질을 측정할 수 있다.

[0031] 도 2a 는 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 휘트스톤 브리지 회로를 이용한 센서 시스템을 도시한 평면도이고, 도 2b는 도 2a에 도시된 센서 시스템의 단면도이다.

[0032] 도 2a 및 도 2b를 참조하여, 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 센서 시스템의 제조 공정을 설명하면, 먼저, 반도체 기판(2100)위에 반응 물질로서 이용되는 나노 물질(2200)을 형성한다. 본 발명의 바람직한 실시예에서, 반도체 기판(2100)으로는 기판 전체에 동일한 게이트 전압을 인가할 수 있도록 해주는 Si/SiO₂, Si/Si₃N₄ 등의 기판이 사용될 수 있으며, 이 때, Si의 경우 과도핑(heavily doped)된 Si이므로 바텀게이트(bottom gate) 전압을 인가할 때의 전극역할을 할 수 있고, SiO₂, Si₃N₄ 등의 경우, 바텀게이트 유전체로써의 역할을 할 수 있다.

[0033] 한편, 본 발명에서 나노 물질이라 함은, 나노 물질 주위의 가스 상태 변화, 온도 변화, 빛의 변화, 특정 바이오 물질 존재 유무 등과 같은 환경 변화에 따라서 전도도가 변화(즉, 저항이 변화)되고, 그 크기가 나노단위인 물질로서, 0차원 물질로서는 나노닷(nanodot), 1차원 물질로서는 나노선(nanowire), 나노막대(nanorod), 나노튜브(nanotube) 등이 있고, 2차원 물질로서는 그래핀(graphene) 등이 있으며, ZnO, SnO₂, Si, SiGe, GaN, TiO₂, In₂O₃, Carbon nanotube, C₆₀, graphene 등으로 구성될 수 있다.

[0034] 본 발명의 바람직한 실시예에서는 휘트스톤 브리지 회로의 저항을 나노물질로 구현하기 때문에 1차적으로 나노 물질의 채널길이, 폭 등을 고려하여 휘트스톤 브리지 회로를 설계해야 한다. 이는 나노물질의 채널길이, 폭, 표면상태, 금속전극과의 접촉상태 등으로 인해서도 저항이 달라지기 때문에, 원하는 저항값을 얻기 위해서는, 1차적으로 나노재료의 채널길이, 폭 등을 고려하여 나노 물질을 선택해야 한다. 그 후, 나노 물질에 형성되는 전극층, 유전체층(2400) 등과의 관계에 따른 저항비를 고려하고, 최종적으로 후술하는 게이트층에 전압을 인가하여 소망하는 저항값을 얻을 수 있다.

[0035] 본 발명의 바람직한 실시예에서는 휘트스톤 브리지 회로의 저항으로 이용되는 나노 물질로서 나노선을 이용하지만, 그 이외의 나노 물질이 상황에 따라서 적절히 선택되어 이용될 수도 있음은 물론이다.

[0036] 한편, 반도체 기판(2100)위에 나노 물질(2200)이 형성되거나 위치된 후, 나노 물질(2200)위에 복수의 전극층을 형성하여 나노 물질(2200)의 저항 영역을 정의한다. 도시된 예에서, 5개의 전극층(제 1 전극층(2310) 내지 제 5 전극층(2350))이 나노 물질(2200) 위에 일 열로 나란히 형성되고, 각 전극층 사이의 나노 물질 영역이 저항 영역으로서 기능을 수행한다.

[0037] 도 2a 및 도 2b에 도시된 본 발명의 바람직한 실시예에서, 나노 물질(2200) 중, 제 1 전극층(2310) 및 제 2 전극층(2320) 사이에 위치한 영역이 도 1의 제 1 저항 영역(R1)에 해당되고, 제 2 전극층(2320) 및 제 3 전극층(2330) 사이에 위치한 영역이 도 1의 제 2 저항 영역(R2)에 해당되며, 제 3 전극층(2330) 및 제 4 전극층(2340) 사이에 위치한 영역이 도 1의 제 4 저항영역(R4)에 해당되고, 제 4 전극층(2340) 및 제 5 전극층(2350) 사이에 위치한 영역이 도 1의 제 3 저항 영역(R3)에 해당된다.

[0038] 도시된 예에서, 제 1 전극층(2310) 및 제 5 전극층(2350)은 나노 물질(2200)의 말단부를 내부에 수용하도록, 일부 영역은 나노 물질(2200)위에 형성되고, 일부 영역은 반도체 기판(2100)위에 형성되었으나, 제 2 전극층(2320) 내지 제 4 전극층(2340)과 동일한 방식으로 나노 물질(2200) 위에 형성될 수도 있다.

[0039] 전극층들이 형성된 후, 제 1 저항 영역을 제외한 나머지 저항 영역들이 외부 환경에 노출되지 않도록 보호하는 유전체층(2400)을 나노 물질(2200) 및 전극층(2320~2350) 위에 형성한다. 유전체층(2400)은 Al₂O₃, HfO₂, SiO₂, Si₃N₄, La₂O₃, Ta₂O₅, ZrO₂ 등과 같은 무기물로, 리소그래피, 원자층 증착(Atomic layer deposition), 리프트 오프(lift-off) 공정 등을 이용하여 형성될 수 있고, 본 발명의 바람직한 실시예들에서는 Al₂O₃를 이용하여 유전체층(2400)을 형성하였다.

- [0040] 유전체층(2400)이 형성된 후, 유전체층(2400) 상부의 저항 영역에 대응되는 위치에 게이트층(2510~2530)을 형성한다. 게이트층(2510~2530)은 인가되는 전압에 의해서 반도체 기관(2100)과의 사이에 전계를 발생시킴으로써, 게이트층 아래에 위치한 나노 물질(2200)의 저항 영역의 저항값(즉, 전도도)을 조절할 수 있다. 만약, 나노 물질(2200)이 N-type 인 경우에는 게이트층에 음의 전압을 인가하여 저항값을 높이고, 양의 전압을 인가하여 저항값을 감소시킬 수 있고, 나노 물질(2200)이 P-type 인 경우에는 그 반대로 전압을 인가하여 저항값을 조절할 수 있다.
- [0041] 한편, 상술한 제조 공정에서 제 1 전극층(2310)과 제 5 전극층(2350)은 연결부(2600)에 의해서 서로 전기적으로 연결되며, 외부 전원(2700)은 연결부(2600)(제 1 전극층(2310) 또는 제 5 전극층(2350)과 직접 연결되는 것도 가능함) 및 제 3 전극층(2330)과 연결되어 전원을 공급하고, 전압계(2800)는 제 2 전극층(2320) 및 제 4 전극층(2340)과 각각 연결된다. 이 때, 연결부(2600)와 전압계(2800)는 서로 전기적으로 접촉되지 않음을 주의해야 한다.
- [0042] 도 2a 및 도 2b를 참조하여, 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 센서 시스템의 동작 과정을 설명하면, 제 1 전극층(2310)(또는 제 5 전극층(2350))과 제 3 전극층(2330)에 연결된 전원(2700)으로부터 전원이 인가되면, 전류가 흐르면서 제 2 전극층(2320) 및 제 4 전극층(2340)에 연결된 전압계(2800)에 전압이 검출된다.
- [0043] 전압계(2800)에서 측정된 전압이 0이 되도록, 즉, 휘트스톤 브리지 회로가 평형 상태가 되도록, 가변 저항으로 동작하는 나노 물질(2200)의 제 2 내지 제 4 저항 영역(R2~R4)의 상부에 위치한 게이트층들(2510~2530) 각각으로 전압이 인가된다.
- [0044] 게이트층들(2510~2530)에 전압이 인가되면 전계에 의해서 아래에 위치한 나노 물질(2200)의 저항영역의 저항값이 변하게 되고, 저항값이 변함에 따라서 전압계(2800)의 측정값이 변하게 되며, 전압계(2800)의 측정값이 0이 될 때까지, 인가된 전압에 의해서 나노물질의 저항 영역의 저항값이 조절된다.
- [0045] 상술한 바와 같이, 나노 물질(2200)이 N-type 인 경우에는 게이트층에 음의 전압을 인가하여 저항값을 높이고, 양의 전압을 인가하여 저항값을 감소시킬 수 있고, 나노 물질(2200)이 P-type 인 경우에는 그 반대로 전압을 인가하여 저항값을 조절할 수 있다.
- [0046] 전압계(2800)의 측정값이 0이되면, 휘트스톤 브리지 회로는 평형상태에 있게 되고, 이 경우에, $(R1/R2)=(R3/R4)$ 임은 익히 잘 알려진 사실이다. 따라서, 현재 측정 대상 물질과 반응하여 저항이 변화한 제 1 저항 영역(R1)의 저항값을 측정하기 위해서는, 제 2 저항 영역 내지 제 4 저항 영역(R2 내지 R4)의 저항값을 알아야 한다. R2 내지 R4의 저항값은 각 저항 영역 양측에 위치하는 전극층에 전류계 측정 단자(미도시 됨)를 연결하여, 양 전극층 사이에 흐르는 전류를 측정함으로써 알 수 있다.
- [0047] 상술한 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에서는 제 2 저항 영역 내지 제 4 저항 영역 모두에 게이트층을 형성하여 제 2 저항 영역 내지 제 4 저항 영역 각각의 저항값을 조절하는 것으로 설명하였으나, 하나의 저항 영역 또는 두개의 저항 영역 위에만 게이트층을 형성하여 하나 또는 두개의 저항 영역의 저항값만을 변경함으로써 측정을 수행할 수도 있음은 물론이다.
- [0048] 도 3은 본 발명의 바람직한 제 2 실시예에 따른 센서 시스템의 구성을 도시한 평면도이다.
- [0049] 상술한 제 1 실시예에서는 단일한 나노 물질을 이용하고, 하나의 나노 물질 위에 일렬로 전극층을 형성한 것에 비해, 본 발명의 바람직한 제 2 실시예는, 나노 물질을 2개로 분리하여, 제 1 나노 물질(3210)에 2개의 저항 영역(R1, R2)을 형성하고, 제 2 나노물질에 역시 2개의 저항 영역(R3, R4)을 형성하여 휘트스톤 브리지 회로를 구성한 점에 차이가 있다.
- [0050] 도 3을 참조하여, 이러한 차이점을 중심으로 본 발명의 제 2 실시예에 따른 센서 시스템의 제조 공정 및 그 구조를 설명하면, 반도체 기관(3100)위에 제 1 나노 물질(3210)과 제 2 나노 물질(3220)이 서로 이격되도록 형성하고, 제 1 나노 물질(3210)에 제 1 전극층(3310) 내지 제 3 전극층(3330)을 형성하고, 제 2 나노 물질(3220)에 제 4 전극층(3340) 내지 제 6 전극층(3360)을 형성한다.
- [0051] 제 1 나노 물질(3210)에 형성된 제 1 전극층(3310) 내지 제 3 전극층(3330)은 전극층 사이의 제1 저항 영역(R1) 및 제 2 저항 영역(R2)을 정의하고, 제 2 나노 물질(3220)에 형성된 제 4 전극층(3340) 내지 제 6 전극층(3360)은 전극층 사이의 제 3 저항 영역(R3) 및 제 4 저항 영역(R4)을 정의한다. 또한, 제 1 전극층(3310)은 제 4 전극층(3340)과, 제 3 전극층(3330)은 제 6 전극층(3360)과 각각 연결부(3620, 3610)에 의해서 전기적으로 연결된다.

- [0052] 한편, 제 1 실시예와 마찬가지로, 하나의 저항 영역만이 외부 환경에 노출되도록, 나머지 저항 영역을 구성하는 나노 물질 및 전극층위에 유전체층을 형성한다. 이 때, 제 1 저항 영역은 외부로 노출되므로, 제 1 유전체층(3410)은 제 2 전극층(3320)과 제 3 전극층(3330) 및 그 사이의 제 2 저항 영역에 대응되는 나노 물질(3210) 위에 형성되고, 제 2 유전체층(3420)은 제 4 전극층(3340) 내지 제 6 전극층(3360) 및 각 전극층 사이의 제 3 저항 영역 및 제 4 저항 영역의 나노 물질(3220) 위에 형성된다.
- [0053] 그 후, 게이트층(3510~3530)을, 제 1 및 제 2 유전체층(3410, 3420) 위에, 제 2 저항 영역 내지 제 4 저항 영역에 대응되는 위치에 형성한다.
- [0054] 한편, 전원(3700)은 제 3 전극층(3330) 및 제 4 전극층(3340)과 연결되고, 휘트스톤 브리지 회로의 평형상태를 측정하는 전압계(3800)는 제 2 전극층(3320) 및 제 5 전극층(3350)과 연결된다.
- [0055] 이후에는 제 1 실시예와 동일한 방식으로 게이트층(3510~3530)의 전압을 변경하여, 제 2 저항 영역(R2) 내지 제 4 저항 영역(R4)의 나노 물질의 저항값을 변경하면서, 외부 환경에 노출되어 측정 대상 물질과 반응하여 저항값이 변경된 제 1 저항 영역(R1)의 저항값을 측정함으로써, 대상 물질을 측정할 수 있다.
- [0056] 제 1 실시예와 마찬가지로, 제 2 실시예의 바람직한 실시예에서는, 게이트층(3510~3530)을 제 2 저항 영역(R2)의 상부 내지 제 4 저항 영역(R4)의 상부에 모두 설치하여, 제 2 저항 내지 제 4 저항값을 모두 변경하는 것으로 설명하였으나, 제 1 실시예와 마찬가지로, 하나 또는 두개의 저항 영역에 게이트층을 형성하여 하나 또는 두개의 저항 영역의 저항값만을 변경함으로써 제 1 저항 영역의 저항값을 측정할 수 있음은 제 1 실시예에서 설명한 바와 동일하다.
- [0057] 지금까지 본 발명의 바람직한 제 1 실시예 및 제 2 실시예에 따른 센서 시스템에 대해서 설명하였다. 상술한 실시예들에서는 하나의 나노 물질 또는 두 개의 나노 물질에 복수의 저항 영역을 형성하였으나, 도 4 에 도시된 바와 같이, 서로 분리된 4개의 나노 물질 각각에 대해서 2개의 전극층을 형성하여 4개의 저항 영역을 형성하는 것도 가능하다.
- [0058] 도 4를 참조하면, 서로 이격된 4개의 나노 물질(4210 내지 4240)이 반도체 기판(4100)에 형성되고, 나노 물질의 중심이 드러나도록, 각 나노 물질의 양 말단에 전극층(4310 내지 4380)이 형성되어, 상기 각 나노 물질에 저항 영역(R1 내지 R4)이 형성된다.
- [0059] 그 후, 4개의 나노 물질 중 3개의 나노 물질(4220 내지 4240)위에 유전체층(4410 내지 4430)과 게이트층(4510 내지 4530)이 형성되며, 나머지 하나의 나노 물질(4210)은 외부로 노출된다.
- [0060] 또한, 제 1 전극층(4310)과 제 5 전극층(4350)은 제 2 연결부(3620)에 의해서, 제 2 전극층(4320)과 제 3 전극층(4330)은 제 1 연결부(3610)에 의해서, 제 4 전극층(4340)과 제 8 전극층(4380)은 제 4 연결부(3640)에 의해서, 제 6 전극층(4360)과 제 7 전극층(4370)은 제 3 연결부(3630)에 의해서 각각 전기적으로 연결된다.
- [0061] 또한, 전원(4700)은 제 2 연결부(3620)(제 1 전극층 또는 제 5 전극층과 직접 연결되는 것도 가능함)와 제 4 연결부(3640)(제 4 전극층 또는 제 8 전극층과 직접 연결되는 것도 가능함)에 접속되고, 전압계(4800)는 제 1 연결부(3610) 및 제 3 연결부(3630)에 접속된다(연결부에 의해서 연결되는 전극층에 직접 접속되는 것도 가능).
- [0062] 한편, 도 5 에 도시된 다른 실시예에서와 같이, 외부 환경에 노출되는 제 1 저항 영역은 독립적인 하나의 나노 물질(5210)을 이용하여 형성하고, 나머지 제 2 내지 제 4 저항 영역을 하나의 나노물질(5220) 위에 형성하는 것도 가능함은 물론이다.
- [0063] 도 5를 참조하면, 도 5에 도시된 실시예의 센서 시스템은, 서로 이격된 제 1 나노 물질(5210) 및 제 2 나노 물질(5220)이 반도체 기판(5100)위에 형성되고, 제 1 나노 물질(5210)의 상부에 제 1 전극층(5310) 및 제 2 전극층(5320)이 형성되며, 제 2 나노 물질(5220)의 상부에 제 3 전극층(5330) 내지 제 6 전극층(5360)이 형성되며, 각 전극층 사이에 해당되는 나노물질의 영역이 저항 영역(R1 내지 R4)으로 형성된다.
- [0064] 또한, 제 2 나노 물질(5220)과 그 위에 형성된 전극층들(5330~5360) 위에 유전체층(5400)이 나노 물질을 보호하는 무기물 보호층으로서 형성된다. 따라서 제 2 저항 영역(R2) 내지 제 4 저항 영역(R4)은 외부 환경에 노출되지 않고, 제 1 나노 물질(5210)에 형성된 제 1 저항 영역(R1)만이 외부 환경으로 노출된다.
- [0065] 또한, 유전체층(5400) 위에 각 저항 영역에 대응되는 위치에 게이트층(5510~5530)이 형성되어 제 2 저항 영역 내지 제 4 저항 영역은 게이트층(5510~5530)에 전압을 인가함으로써 저항값을 조절할 수 있게된다.
- [0066] 상술한 도 4 및 도 5 에 도시된 실시예에서도, 3개의 저항 영역 위에 모두 게이트층이 형성된 것으로 설명하였

으나, 1개 또는 2개의 저항 영역에만 게이트층을 형성하여 해당 나노 물질의 저항만을 조절할 수도 있음은 물론이다.

[0067] 도 6은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따라서 제조된 센서 시스템의 광학 이미지를 도시한 도면이다. 도 4에 도시된 예에서는, 나노 물질로서 SnO_2 가 이용되고, 단일 나노선 위에 제 1 실시예와 동일하게 3개의 저항 영역 위에는 무기물 유전체층(Al_2O_3) 및 게이트층을 형성되어 저항을 가변할 수 있고, 나머지 하나의 저항 영역은 외부 환경에 노출되어 있어서 센서의 반응물질로써 사용되고 있음을 알 수 있다.

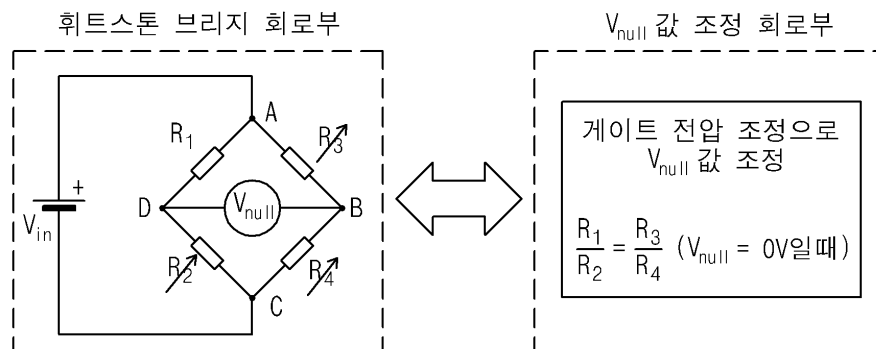
[0068] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

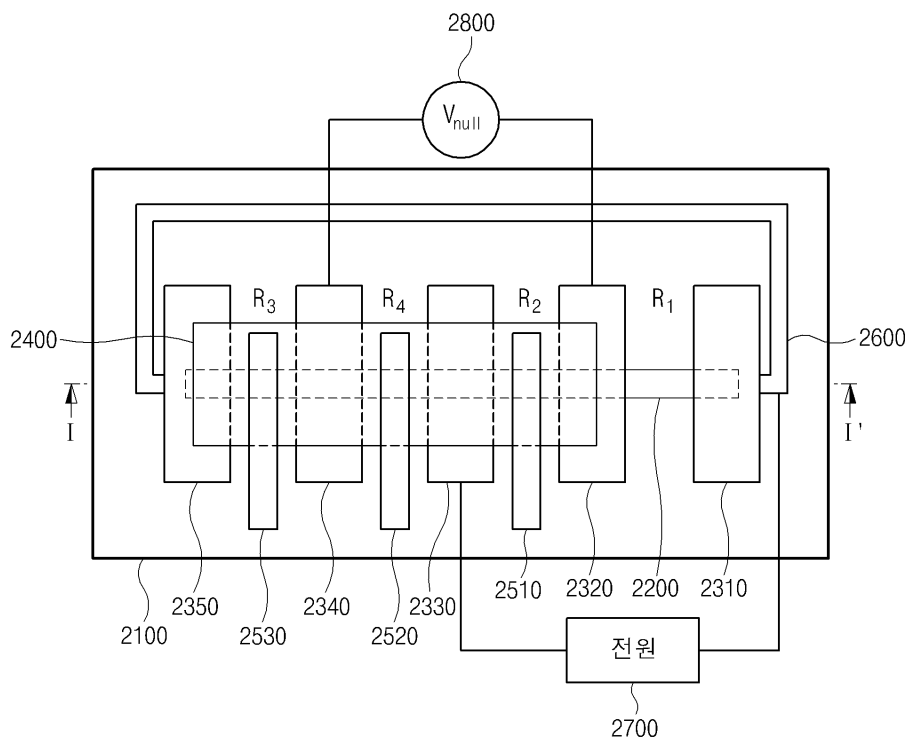
[0069] 2100, 3100, 4100, 5100 반도체 기판
2200, 3210, 3220, 4210, 4220, 4230, 4240, 5210, 5220 나노 물질
2310, 3310, 4310, 5310 제 1 전극층
2320, 3320, 4320, 5320 제 2 전극층
2330, 3330, 4330, 5330 제 3 전극층
2340, 3340, 4340, 5340 제 4 전극층
2350, 3350, 4350, 5350 제 5 전극층
3360, 4360, 5360 제 6 전극층
4370 제 7 전극층
4380 제 8 전극층
2400, 3410, 3420, 4410, 4420, 4430, 5400 유전체층
2510, 2520, 2530, 3510, 3520, 3530 게이트층
4510, 4520, 4530, 5510, 5520, 5530 게이트층
2700, 3700, 4700, 5700 전원
2800, 3800, 4800, 5800 전압계

도면

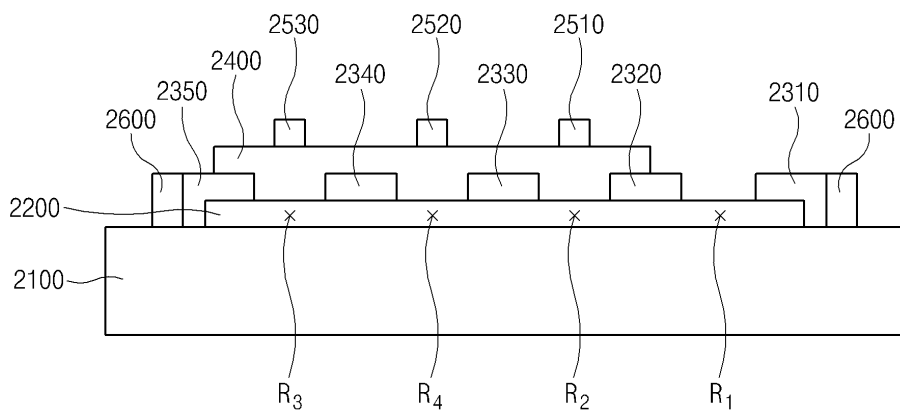
도면1



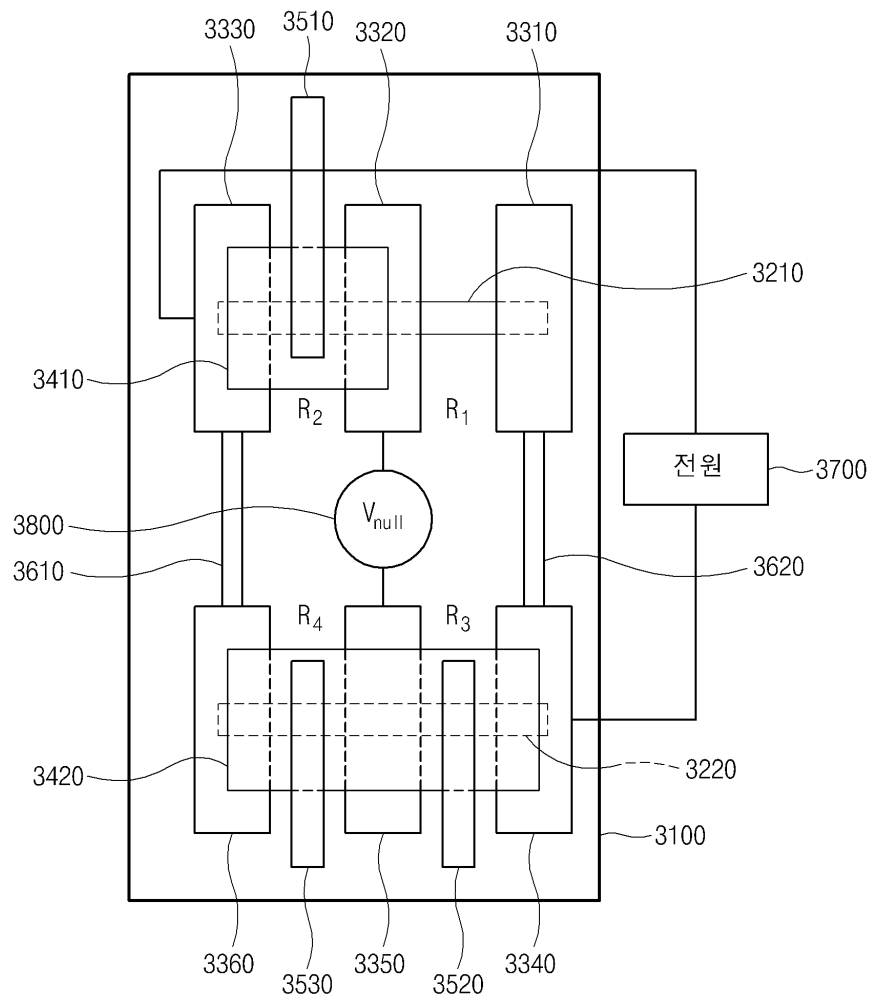
도면2a



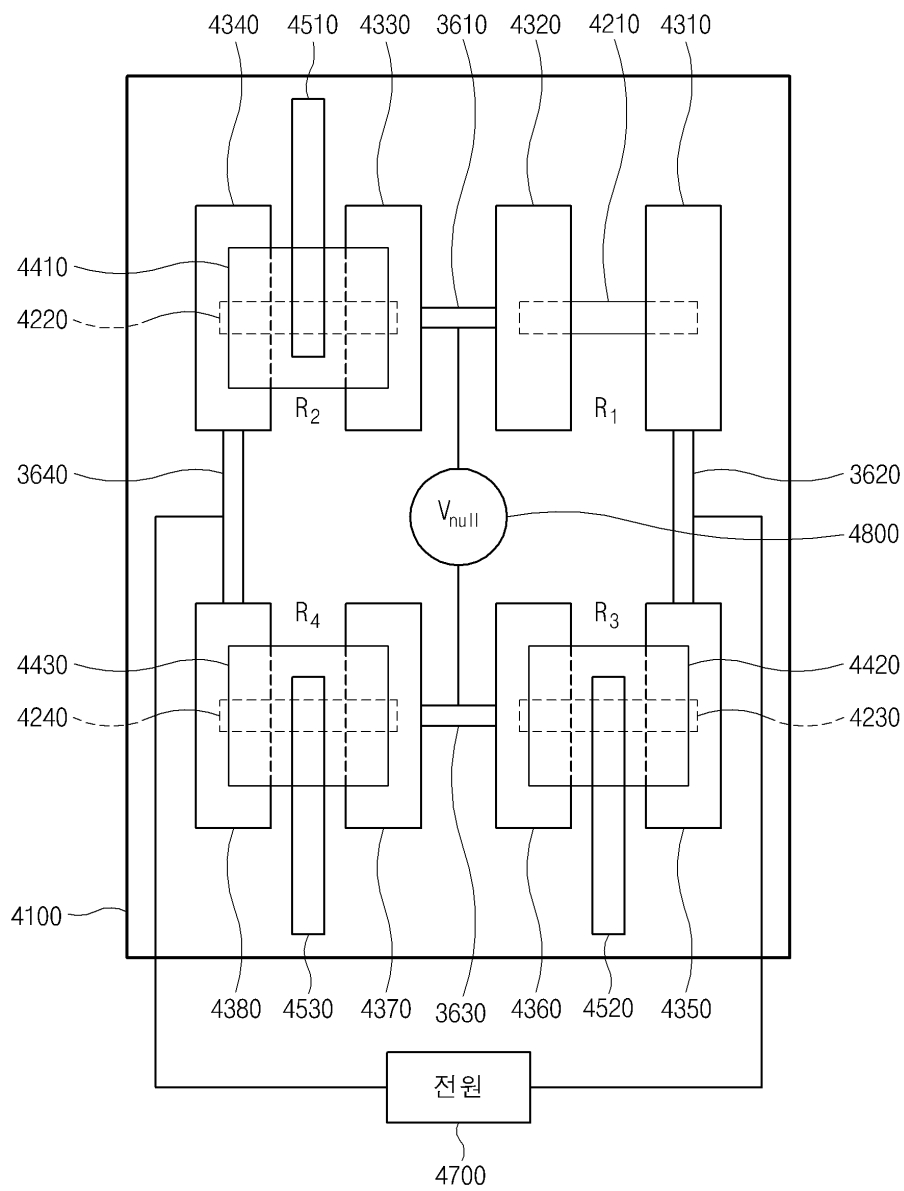
도면2b



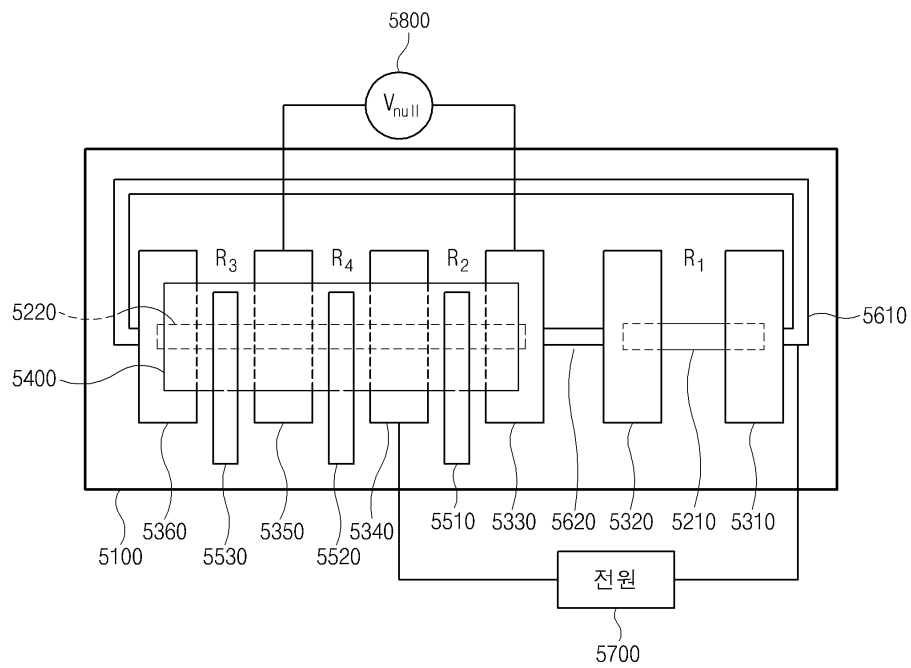
도면3



도면4



도면5



도면6

