



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0075957
(43) 공개일자 2009년07월13일

(51) Int. Cl.

B82B 3/00 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0001619

(22) 출원일자 2008년01월07일

심사청구일자 2008년01월07일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

이종훈

경기 과천시 별양동 6번지 주공5단지 501동 102호

황인성

대구 동구 동내동 304번지

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인아주

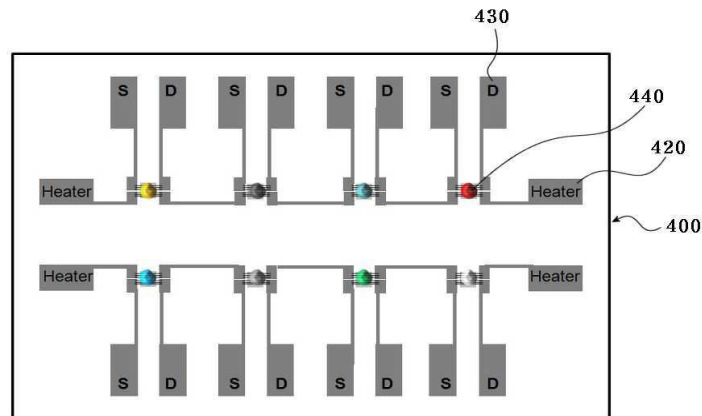
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) PDMS를 이용한 나노 소자의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 이용한 나노 소자의 제조방법에 관한 것으로, PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 이용하여 전극 패턴 상에 선택적으로 나노 구조체를 균일하게 정렬하는 공정을 제공함으로써, 종래의 나노 구조체 소자 제조 방법보다 공정이 간단하고, 공정시간이 짧으며, 제조단가가 낮고, 대규모 스케일에서도 공정이 가능하게 하고 또한 가스, 바이오 및 광센서 등의 나노 소자를 손쉽게 구현할 수 있도록 하는 발명에 관한 것이다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

김선중

서울 도봉구 도봉2동 동아에코빌 103동 705호

김윤성

서울 종로구 평창동 평창 힐스 103-405

특허청구의 범위

청구항 1

전극 패턴이 형성된 반도체 기판 상에 상기 전극 패턴을 선택적으로 노출시키는 PDMS(Polydimethylsiloxane)을 형성하고, 상기 노출된 전극 패턴 상에 나노 구조체를 형성하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 나노 구조체는 상기 전극 패턴을 선택적으로 연결하여 네트워크를 형성하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

청구항 3

실리콘 기판 상부에 산화막을 형성하는 단계;

상기 산화막 상부에 전극 패턴을 형성하는 단계;

상기 전극 패턴과 연결되는 나노 구조체가 형성될 영역을 노출시키는 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 상기 산화막 상부에 형성하는 단계;

상기 PDMS 패턴 사이의 영역에 상기 나노 구조체가 포함된 증류수를 선택적으로 적하시키는 단계;

상기 증류수를 증발시켜 상기 나노 구조체를 상기 전극 패턴 상부에 형성하는 단계; 및

상기 PDMS 패턴을 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 나노 구조체는 탄소나노튜브(Carbon Nanotubes; CNT), 산화물 나노튜브(Oxide Nanotubes), 나노막대(Nanorods), 나노선(Nanowires), 나노시트(Nanosheets), 나노리본(Nanoribbons), 나노 두께의 중공 입자(Hollow sphere) 및 이들의 혼합물 중 선택된 어느 하나를 사용하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 형성하는 단계는

상기 PDMS를 자일렌(xylene) 또는 톨루엔(toluene)과 같은 유기용매에 녹이는 단계;

상기 PDMS 용액에 경화제로 DMAP(dimethoxy phenyl acetophenone)를 첨가하는 단계;

상기 경화제가 첨부된 PDMS 용액을 상기 산화막 상부에 도포하는 단계;

상기 PDMS 용액을 경화시키는 단계; 및

상기 경화된 PDMS를 레이저 빔을 이용하여 패터닝하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 PDMS 용액에 상기 경화제를 첨가하는 단계는

상기 PDMS 용액 및 상기 경화제의 비율을 10 : 1의 중량퍼센트로 혼합하여 수행하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

청구항 7

실리콘 기판 상부에 산화막을 형성하는 단계;

상기 산화막 상부에 나노 구조체가 형성될 영역을 노출시키는 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 단계;

상기 PDMS 패턴 사이의 영역에 상기 나노 구조체가 포함된 증류수를 선택적으로 적하시키는 단계;

상기 증류수를 증발시켜 상기 나노 구조체를 상기 산화막 상부에 형성하는 단계;

상기 PDMS 패턴을 제거하는 단계; 및

상기 나노 구조체와 연결되는 전극 패턴을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 소자의 제조 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 이용한 나노 소자의 제조방법에 관한 것으로, 나노 구조체를 이용하여 나노 소자를 형성하는 대부분 공정은 시간이 오래 걸리고, 제조 단가가 비싼 문제를 해결하여, 종래의 나노 구조체 소자 제조 방법보다 공정이 간단하고 또한 대규모 스케일에서도 공정이 가능하게 하고 가스, 바이오 및 광 센서 등의 나노 소자를 손쉽게 구현할 수 있도록 하는 발명에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 최근 탄소나노튜브(Carbon Nanotubes; CNT), 산화물 나노튜브(Oxide Nanotubes), 나노막대(Nanorods), 나노선(Nanowires), 나노시트(Nanosheets), 나노리본(Nanoribbons) 또는 나노 두께의 중공 입자(Hollow sphere) 등 다양한 형태의 저차원 나노 구조체를 이용한 소자에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이런 나노 구조체는 물리적, 화학적 등의 우수한 특성뿐만 아니라, 나노 구조를 갖는 그 자체로 나노 소자를 구성하는데 유용한 기본 단위가 되면서, 동시에 나노 재료가 갖는 다양한 효과를 구현할 수 있다는 점에서 큰 주목을 받고 있다.
- <3> 이러한 나노 구조체들은 레이저 어블레이션(laser ablation), 스퍼터링(sputtering), 화학기상증착(chemical vapor depositon) 또는 졸-겔(sol-gel)법 등에 의하여 합성되어 진다. 또한 나노 구조체에 불순물 첨가하거나, 이중구조 또는 코어셸 구조 등으로 합성하여 소자로써의 그 특성을 향상시킬 수 있다.
- <4> 아울러, 나노 구조체를 이용한 전계효과 트랜지스터(FET), 레이저(laser), 화학센서(chemical sensor) 및 바이오센서(bio sensor) 등을 형성하는 나노 소자에 대한 연구가 진행되고 있다.
- <5> 그러나, 나노 구조체는 물리적 또는 화학적으로 우수한 특성을 지니고 있음에도 불구하고 분산, 정렬 및 패터닝의 불안정성 때문에 실질적인 소자를 구현하는데 어려움이 있다.
- <6> 가장 대표적인 나노 소자의 제조 방법은 기존의 반도체 공정으로 이용하여 미세 리소그래피(lithography)와 식각 공정을 통하여 실리콘 등의 재료를 패터닝하는 것이 있다. 아울러, 식각 공정으로 소자를 직접 제작하는 탑다운(top-down) 방법이 있고, 기판에서 금속 촉매를 이용한 VLS(Vapor-Liquid Solid) 성장법, 졸-겔(sol-gel)법 또는 VS(Vaper-solid)법 등의 방법으로 나노 구조체를 합성한 후, 기판에 전극을 형성하고, 상기 합성된 나노 구조체를 특정 위치에 분산 및 정렬하여 나노 소자를 제작하는 바텀 업(bottom-up) 방식이 있다.
- <7> 여기서, 탑 다운(top-down) 공정인 경우 원하는 위치에 원하는 크기로 소자를 제작할 수 있다는 장점이 있지만 패터닝을 위한 공정이 복잡하고 또한 장비가 고가이기 때문에 가격 경쟁면에서 비효율적이다. 또한, 사용하는 재료가 한정적이기 때문에 현재 실리콘 기반의 반도체 공정에 적합하다고 할 수 있다.
- <8> 이에 반해 바텀 업(bottom-up) 방식은 나노 구조체를 직접 기판에서 금속 촉매를 이용하여 선택적으로 성장시켜서 형성하는 방법과 나노 구조체를 먼저 합성시킨 후 전극 증착 등의 후공정을 통하여 나노 구조체를 정렬하는 방법으로 나눌 수 있다.
- <9> 나노 구조체를 직접 기판에서 금속 촉매를 이용하여 선택적으로 성장시켜서 소자를 형성하는 방법의 경우 기판에서 촉매를 이용하여 나노 구조체를 수직 성장시킨 다음 상기 나노 구조체와 연결되는 전극을 형성하는데, 이

공정이 매우 어렵다는 문제가 있다. 또한 균일한 면적에 균일한 높이로 수직 성장한 나노 구조체를 형성하는 공정이 어려울 뿐만 아니라 이를 대량으로 생산하기도 힘들다. 그리고, 소자의 특성 측면에서는 나노 구조체를 합성할 때 형성되는 버퍼층(buffer layer)에 의해서 소자의 특성이 저하될 수도 있다.

- <10> 그 다음으로, 나노 구조체를 먼저 합성시킨 후 전극 증착 등의 후공정을 통하여 나노 구조체를 정렬하는 방법은 합성한 나노 구조체를 용매에 분산 시킨 상태에서 용매를 기판에 뿌린 후 전자빔 리소그래피(e-beam lithography)를 이용하여 단일 나노 구조체가 놓일 정확한 위치를 제어하고, 나노 구조체를 기판에 정렬시킨다. 이는 나노 구조체를 성장시키는 것보다 공정이 용이하긴 하지만 정렬 속도가 느리고 고가의 장비를 사용하기 때문에 상용화에 어려움이 있다.
- <11> 이러한 문제를 보완하기 위해 나노 구조체를 합성한 후, 나노 구조체를 정렬하는 방법으로 랑미어-블로젯(Langmuir-Blodgett, LB), 마이크로프루틱(Microfluidic), 전기영동(Electrophoresis) 또는 자기조립 분자박막(Self-assembly monolayer, SAM)등의 방법이 사용된다.
- <12> 이중 가장 대표적인 방법은 랑미어-블로젯 방법으로 수용액 상태에서 비 휘발성, 비수용성 물질인 나노선 또는 나노로드 등이 수면과의 접촉력이 분자들간의 응집력보다 크면 분자들은 수면 위에서 분산되는 원리를 이용하여 나노 구조체를 효과적으로 정렬할 수 있는 방법이다. 이에 관해서는 페이동 양(Peidong Yang) 그룹(CHEMPHYSICHEM, 3, 503-506, 2002)에서 연구가 되어졌다. 랑미어-블로젯 방법은 전극구조체를 용액상에 위치시켜야 하는 문제가 있고, 건조시 나노구조체의 응집이 발생할 수 있다.
- <13> 그리고, 자기조립 분자 박막 방법은 실리콘 산화물, 금 또는 백금 등의 기판에 유기규소, 티올계 유기물 또는 아민계 유기 활성물질 등이 녹아있는 용액을 침지시키면 자발적으로 기판 위에 유기 활성물질이 결합하여 초박막의 단분자막이 형성되고 나노선이 패턴화되는 것이다. 이 방법의 경우에도 용액속에 전극구조체를 넣어야 되고, 장시간이 소요되며, 전극위에 선택적으로 올릴 수 있는 물질에 제약이 크다는 문제점이 있다.
- <14> 상술한 바와 같이 나노 구조체를 이용하여 나노 소자를 형성하는 대부분 공정은 시간이 오래 걸리고, 실제로 소자를 제작하기 위해서는 정렬된 나노 구조체를 소자에 선택적으로 이송하여야 하는데, 이를 위해서는 고가의 원료물질, 추가적인 공정이 소요되어 비 효율적이고, 특히 기판의 스케일이 큰 경우에 적용하는 것은 거의 불가능하다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <15> 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 이용하여 전극 위에 선택적으로 나노 구조체를 균일하게 정렬하는 공정을 제시함으로써, 종래의 나노 구조체 소자 제조 방법보다 공정이 간단하고 또한 대규모 스케일에서도 공정이 가능하게 하고 가스, 바이오 및 광센서등의 나노소자를 손쉽게 구현할 수 있도록 하는 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 이용한 나노 구조체의 정렬 및 이를 이용한 나노소자 제조방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제 해결수단

- <16> 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 소자의 제조 방법은
- <17> 전극 패턴이 형성된 반도체 기판 상에 상기 전극 패턴을 선택적으로 노출시키는 PDMS(Polydimethylsiloxane)을 형성하고, 상기 노출된 전극 패턴 상에 나노 구조체를 형성하는 것을 특징으로 한다.
- <18> 여기서, 상기 나노 구조체는 상기 전극 패턴을 선택적으로 연결하여 네트워크를 형성하는 것을 특징으로 한다.
- <19> 아울러 본 발명의 다른 실시예에 따른 나노 소자의 제조 방법은
- <20> 실리콘 기판 상부에 산화막을 형성하는 단계와, 상기 산화막 상부에 전극 패턴을 형성하는 단계와, 상기 전극 패턴과 연결되는 나노 구조체가 형성될 영역을 노출시키는 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 상기 산화막 상부에 형성하는 단계와, 상기 PDMS 패턴 사이의 영역에 상기 나노 구조체가 포함된 증류수를 선택적으로 적하시키는 단계와, 상기 증류수를 증발시켜 상기 나노 구조체를 상기 전극 패턴 상부에 형성하는 단계 및 상기 PDMS 패턴을 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <21> 여기서, 상기 나노 구조체는 탄소나노튜브(Carbon Nanotubes; CNT), 산화물 나노튜브(Oxide Nanotubes), 나노

막대(Nanorods), 나노선(Nanowires), 나노시트(Nanosheets), 나노리본(Nanoribbons), 나노 두께의 중공 입자(Hollow sphere) 및 이들의 혼합물 중 선택된 어느 하나를 사용하는 것을 특징으로 하고, 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 형성하는 단계는 상기 PDMS를 자일렌(xylene) 또는 톨루엔(toluene)과 같은 유기용매에 녹이는 단계와, 상기 PDMS 용액에 경화제로 DMAP(dymethoxy phenyl acetophenone)를 첨가하는 단계와, 상기 경화제가 첨부된 PDMS 용액을 상기 산화막 상부에 도포하는 단계와, 상기 PDMS 용액을 경화시키는 단계 및 상기 경화된 PDMS를 레이저 빔을 이용하여 패터닝하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 PDMS 용액에 상기 경화제를 첨가하는 단계는 상기 PDMS 용액 및 상기 경화제의 비율을 10 : 1의 중량퍼센트로 혼합하여 수행하는 것을 특징으로 한다.

<22> 아울러 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 나노 소자의 제조 방법은

<23> 실리콘 기판 상부에 산화막을 형성하는 단계와, 상기 산화막 상부에 나노 구조체가 형성될 영역을 노출시키는 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 단계와, 상기 PDMS 패턴 사이의 영역에 상기 나노 구조체가 포함된 증류수를 선택적으로 적하시키는 단계와, 상기 증류수를 증발시켜 상기 나노 구조체를 상기 산화막 상부에 형성하는 단계와, 상기 PDMS 패턴을 제거하는 단계 및 상기 나노 구조체와 연결되는 전극 패턴을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

효 과

<24> 본 발명에 따른 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 이용한 나노 구조체의 정렬 및 이를 이용한 나노소자 제조방법은 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 이용하여 전극 위에 선택적으로 나노 구조체를 균일하게 정렬함으로써, 종래의 나노 구조체 소자 제조 방법보다 공정을 단순화할 수 있고, 시간 및 단가를 감소시킬 수 있는 효과를 제공한다. 아울러, 본 발명은 4인치 이상의 웨이퍼 스케일에서도 나노 소자를 대량 생산할 수 있게 하므로, 나노 소자 제조 공정 수율을 향상시킬 수 있는 효과를 제공한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<25> 본 발명을 더욱 상세히 설명하면 다음과 같이 크게 4단계로 나누어진다. 먼저 기판에 전극 패턴을 제작하는 단계, 상기 기판에 PDMS(Polydimethylsiloxane) 패턴을 제작하는 단계, 나노 구조체를 상기 기판에 선택 정렬시키는 단계 및 정렬된 나노 구조체를 응용하여 나노 소자를 형성하는 단계로 구분된다.

<26> 여기서, PDMS는 투명한 비활성의 고분자로서 표면에너지가 매우 낮고 형태의 변화가 용이하며 소수성을 가지는 물질로 다음의 장점을 갖는다.

<27> 첫째, PDMS는 상대적으로 넓은 기판 영역에 안정적으로 접촉되며, 이는 평탄하지 않은 표면에 대해서도 동일하게 만족한다.

<28> 둘째, PDMS는 면간자유에너지(interfacial free energy)가 낮으므로, 다른 고분자와 물당시에 접촉이 잘 일어나지 않는다.

<29> 셋째, PDMS는 균질(homogeneous)의 등방성(isotropic)을 가지며 광학적으로는 300nm의 두께까지 투명한 성질을 갖는다.

<30> 넷째, PDMS는 매우 내구성이 강해 아주 오랜 시간이 경과하더라도 성질의 열화(degradation)가 일어나지 아니한다.

<31> 도 1a 내지 도 1d는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 PDMS 패턴을 이용한 나노 소자의 제조 공정을 도시한 개략도들이다.

<32> 도 1a를 참조하면, 실리콘 기판(100) 상부에 산화막(SiO₂, 120)을 형성한다. 이때, 산화막(120)을 형성하는 이후의 후속 공정에서 형성하는 PDMS가 실리콘 기판에 용이하게 접합되거나 박리되도록 하기 위함이다.

<33> 다음에는, 리소그래피(lithography) 공정을 실시하여 콤 형태의 소스(Source)/드레인(Drain)을 형성하고, Ti/Pt 전자빔 증착(e-beam evaporation) 또는 스퍼터링(sputtering) 공정을 이용하여 전극 패턴(130)을 제조한다. 이때, 전극 패턴(130)의 전체적인 크기는 500×500 μ m 으로 하고, 전극 패턴간 최소 간격은 5 ~ 20 μ m 가 되도록 형성하는 것이 바람직하다.

<34> 도 1b를 참조하면, PDMS와 경화제를 10 : 1 비율로 균일하게 혼합한 후 전극 패턴(130)이 형성된 산화막(120)

상부에 도포한다. 이때, PDMS에 적절한 점성을 부여하기 위해 자일렌(xylene)이나 톨루엔(toluene)과 같은 유기 용매를 이용하여 녹인 형태의 것을 사용하고, 경화(hardening) 및 고분자화(polymerization)시키기 위하여 DMAP(dymethoxy phenyl acetophenone)과 같은 물질을 경화제로 사용한다.

- <35> 다음에는, PDMS를 60°C의 온도에서 12시간 동안 경화시킨다.
- <36> 그 다음에는, 전극 패턴의 설계 도면을 참조하여 나노 구조체를 형성해야 할 전극 부분을 레이저로 절단함으로써, PDMS 패턴(140)을 형성한다. 따라서, 최종적으로 만들어진 PDMS 패턴(140)은 나노 구조체를 증착할 부분에만 홈이 갖는 패턴이 된다. 이때, 홈의 크기는 센서의 패턴의 설계에 따라 수 μm 내지 수 mm 까지 가능하며 이에 따라 PDMS 패턴(140)도 크기 조절이 가능하다.
- <37> 도 1c를 참조하면, 나노선, 나노튜브, 나노입자 또는 탄소나노튜브(CNT)와 같은 나노 구조체를 증류수에 분산시킨 용액(150)을 마이크로피펫(micropipette)을 이용하여 홈 내에 적하시킨다.
- <38> 도 1d를 참조하면, 홈 내에 적하된 용액(150)을 자연 건조시키고, PDMS 패턴(140)을 제거한다.
- <39> 이와 같은 공정을 거치면, PDMS 패턴(140)에 의해 노출되었던 부분에 선택적으로 나노 구조체(160)가 형성된다. 이는 PDMS 패턴(140)이 산화막(120)과 용액(140)에 대하여 소수성(hydrophobicity)을 지니고 있기 때문에 용액(140)이 친수성(hydrophile)을 가진 것처럼 퍼지지 않고 물방울을 형성하므로 그 상태에서 바로 증류수를 증발시키면 전극 패턴(130) 상에 선택적으로 나노 구조체들(160)이 형성되는 것이다.
- <40> 도 2는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 나노 소자를 도시한 사시도이다.
- <41> 도 2를 참조하면, 실리콘 기판(100) 상부에 산화막(120)이 형성되고, 산화막 상부에 전극 패턴(130)이 형성되고, 전극 패턴(130) 상에 선택적으로 나노 구조체(160)들이 형성된다. 이때, PDMS 패턴(140)의 크기 및 두께에 따라 용액이 적하되는 양이 달라지게 때문에 이 원리를 이용하면 나노 구조체(160)의 밀도를 조절할 수 있다. 이와 같이 형성된 나노 구조체(160)들은 전극 패턴(130)과 연결되어 전기적 특성을 갖는 나노 소자로 작용하게 된다.
- <42> 아울러, 상술한 방법과 반대로 PDMS 패턴을 먼저 만든 다음 나노 구조체를 증착하고 전극 패턴을 포함하는 마스크를 이용하여 전극 패턴을 형성하는 방법을 사용할 수 있다.
- <43> 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 PDMS 패턴을 이용한 나노 소자의 제조 공정을 도시한 개략도들이다.
- <44> 도 3a를 참조하면, 실리콘 기판(200) 상부에 산화막(220)을 형성하고, 산화막(220) 상부에 PDMS 패턴(240)을 형성한다. 이때, 산화막(220)은 PDMS 패턴(240)이 쉽게 점착되었다가 쉽게 박리 될 수 있도록 하기 위하여 형성하는 것이다.
- <45> 도 3b를 참조하면, PDMS 패턴(240)에 의해서 형성된 홈 내에 나노 구조체들이 포함된 용액(250)을 적하시킨다.
- <46> 도 3c를 참조하면, 용액(250)을 건조시키고, PDMS 패턴(240)을 제거하여 산화막(220) 상에 나노 구조체(260)들을 선택적으로 형성한다.
- <47> 도 3d를 참조하면, 전극 패턴들을 정의하는 마스크(270)를 이용하여 나노 구조체(260)와 연결되는 전극 패턴(280)을 형성한다.
- <48> 도 4는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 나노 소자를 도시한 사시도이다.
- <49> 도 4를 참조하면, 전극 패턴을 정의하는 마스크(270)가 PDMS 패턴(240) 제거한 후 사용된다.
- <50> 도 5는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 나노 소자의 제조 방법을 도시한 개략도이다.
- <51> 도 5를 참조하면, 가스센서의 전구체 물질이 포함되어 있는 여러 가지 용액을 PDMS 가 코팅된 전극 배열체에 적하하고, 히터로 열처리 할 경우, 인간의 후각과 같이 복합적인 화학량을 동시에 분석하고 판단하는 복합기능 화학감지 나노 소자인 지능형 인공후각(Intelligent Artificial Olfaction) 센서를 제작 할 수 있음을 보여준다.
- <52> 실리콘 기판(300) 상에 산화막(미도시)을 형성한 후 산화막 상부에 복합기능 화학감지 소자의 전극 패턴(330)들을 형성한다.
- <53> 다음에는, PDMS 패턴(340)을 형성한 후, 여러 조성의 나노줄 또는 나노 구조체를 체계적으로 조절할 수 있는 마

이크로피펫(350)을 이용하여 전극 패턴 상에 나노 구조체(360)를 적하시킴으로써, 인공후각 센서를 보다 용이하게 제작할 수 있다.

- <54> 도 6은 본 발명 제 4 실시예에 따라 선택적으로 형성된 나노 소자를 도시한 평면도이다.
- <55> 도 6을 참조하면, 반도체 기판(400)에 형성된 센서 전극(430) 또는 전기 히터(420) 상부에 선택적으로 나노 구조체(440)를 정렬시킨 센서 어레이 공정을 나타낸 것이다.
- <56> 여기서, 나노 구조체를 선택적으로 배열한 상태에서 귀금속 등의 촉매를 용액 적하 방법으로 첨가하면, 가스 감응성 및 선택성을 향상시킬 수 있다.
- <57> 먼저, 주석 금속 분말을 이용하여 열증착방법(Metal thermal evaporation process)에 의하여 합성된 산화주석 나노선(SnO_2 nanowires)을 본 발명에 따른 PDMS 패턴을 이용하여 선택적으로 전극 패턴 상에 증착한다.
- <58> 도 7은 본 발명의 제 5 실시예에 따라 제작된 나노 소자 및 그의 전기적 특성을 나타낸 그래프이다.
- <59> 도 7의 전자현미경 사진은 상기 산화주석 나노선(SnO_2 nanowires)이 전극 상부에 네트워크 상태로 균일하게 형성된 것을 알 수 있다.
- <60> 도 8은 본 발명의 제 6 실시예에 따라 제작된 나노 소자 및 그의 전기적 특성을 나타낸 그래프이다.
- <61> 도 8의 전자현미경 사진은 탄소열분해법(Carbon thermal reduction process)으로 합성된 산화아연 나노시트(ZnO nanosheets)가 전극 위에 선택적으로 증착된 것을 나타낸 것으로 네트워크 상태로 균일하게 형성되어 있음을 알 수 있다.
- <62> 아울러, 도 7 및 도 8의 그래프는 상기 도 7 및 도 8의 나노 소자에 대해서 키슬리4200 시리즈 소스미터(KEITHLEY 4200 SourceMeter)를 이용하여 소스-드레인간 전압을 $-5 \sim 5\text{V}$ 사이로 인가하면서 전류(I_{DS})-전압(V_{DS}) 특성을 측정한 것이다.
- <63> 전극 패턴과 나노선 또는 나노시트의 접촉이 좋지 않을 경우에는 전류(I_{DS})-전압(V_{DS}) 특성에서 정류 접촉(rectifying contact)이 나오거나, 전류가 매우 작게 나타나는데, 도 7 및 도 8의 그래프에서는 전류(I_{DS})-전압(V_{DS})의 변화율이 거의 선형적으로 변화하는 옴(ohm)의 법칙을 따르므로, 나노선 또는 나노시트와 전극과의 접촉성이 매우 우수함을 알 수 있다.
- <64> 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 제 5 실시예에 따른 나노 소자의 NO_x 가스에 대한 감응 특성을 나타낸 그래프들이다.
- <65> 가스 감응 특성은 다음의 방법으로 측정되었다. 고온의 전기로에 퀴츠 관($40 \times 600\text{mm}$)을 설치하고, 가스 센서를 퀴츠관의 중심에 위치시켰다. 관의 전체 유량은 500 sccm 으로 고정한다.
- <66> 다음에는, 에어(Air) 500sccm 을 흘려 기저 저항을 잡은 후 2개의 MFC를 이용하여 측정가스를 혼합한 다음 4-way 밸브를 이용하여 측정 가스의 온/오프(on/off)를 조절하며 측정한다. 이때, 공기중에서 기저 저항(Resistance)을 R_a , 측정 가스에서의 저항(Resistance)을 R_g 라고 할 때 감도(Sensitiveity)는 R_g/R_a 로 나타낸다. 즉, R_g/R_a 는 기저 저항(R_a)을 기준으로 할 때 NO_x 가스 농도에 대한 저항 변화(R_g)를 시간에 따라 나타낸 것이고, 반응 및 회복 시간(Time)은 초기 저항(R_a)에서 반응 후 저항(R_g)값을 뺀 90% 지점에서의 시간 범위로 계산하여 나타낸다.
- <67> 도 9a는 250°C 의 온도에서 시간(Time)에 따른 저항(Resistance)값의 변화를 이용하여 NO_x 가스의 농도(ppm)를 측정한 그래프이다.
- <68> SnO_2 나노선 네트워크를 이용한 본 발명의 나노센서 소자의 경우 NO_2 에 노출될 경우 센서의 저항이 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다.
- <69> 도 9b를 참조하면, $0.2 \sim 5\text{ppm}$ 의 NO_x 에 대해서 가스 감응 특성을 측정한 결과 0.2ppm 에서 감도 2.4 이고 5ppm 에서 감도 25.3를 나타낸 것을 알 수 있다. 이는 종래에 발표된 것보다 저농도에서 높은 감도를 나타내는 것으로, 나노선이 잘 분산되어 가스와 용이하게 반응하여 나타나는 결과이다.
- <70> 도 10a 및 도 10b는 본 발명의 제 6 실시예에 따른 ZnO 나노시트를 이용한 나노 소자의 NO_x 가스에 대한 감응

특성을 나타낸 그래프들이다.

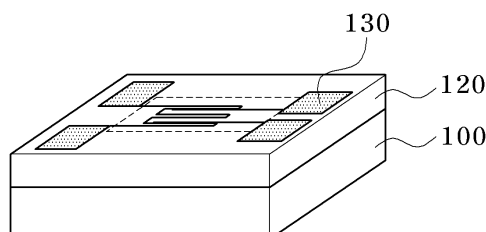
- <71> 도 10a 및 도 10b를 참조하면, 300℃의 온도에서 0.2 ~ 5ppm NO_x 가스에 대해서 가스 감응 특성을 측정한 결과 0.2ppm 에서 감도1.2, 5ppm에서 감도 10.8을 나타내었다. 따라서, 나노시트들이 전극 패턴에 균일하게 잘 분산되어 형성된 것을 알 수 있다.
- <72> 도 11a 및 도 11b는 본 발명의 제 6 실시예에 따른 나노 소자의 325nm 단 파장 노출 유무에 대해 전압 -5 ~ 5V로 인가할 때 전류의 변화량과, 1V 전압을 일정하게 인가할 때 전류의 변화를 나타낸 그래프들이다.
- <73> 도 11a 및 도 11b를 참조하면, ZnO 나노시트를 이용한 나노 소자의 자외선(UV) 감응 특성을 나타낸 것으로, 파장 325 nm의 단색광 자외선에 노출되었을 경우(Under UV 325nm)와 노출되지 않은 경우(In the Dark)와 비교한 것이다. 그래프 상에서 자외선에 노출되었을 경우(Under UV 325nm)는 기울기를 갖는 그래프로 나타나고 노출되지 않은 경우(In the Dark)는 기울기가 거의 나타나지 않는다.
- <74> 본 발명의 제 6 실시예에 따른 도 11b를 참조하면 나노소자는 소스-드레인간에 1V 전압(Voltage) 인가시에 4.39에서 136.2 μ A로 전류(Current) 증가를 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 이를 이용하여 특정 325nm의 단색광 자외선에 본 발명의 나노 소자를 노출할 경우 전류의 변화량이 약 20배 이상 변화하기 때문에 자외선을 노출 유무를 검출할 수 있는 광소자로의 활용이 가능하다.
- <75> 상술한 바와 같이, 본 발명에 의해 제조된 나노소자가 가스센서, 광소자, 바이오소자 등으로 매우 광범위하게 활용될 수 있음을 잘 보여 주는 근거가 된다.

도면의 간단한 설명

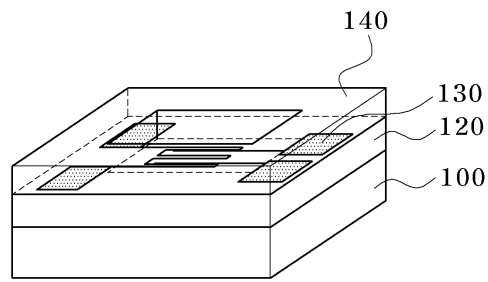
- <76> 도 1a 내지 도 1d는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 PDMS 패턴을 이용한 나노 소자의 제조 공정을 도시한 개략도들.
- <77> 도 2는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 나노 소자를 도시한 사시도.
- <78> 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 PDMS 패턴을 이용한 나노 소자의 제조 공정을 도시한 개략도들.
- <79> 도 4는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 나노 소자를 도시한 사시도.
- <80> 도 5는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 나노 소자의 제조 방법을 도시한 개략도.
- <81> 도 6은 본 발명 제 4 실시예에 따라 선택적으로 형성된 나노 소자를 도시한 평면도.
- <82> 도 7은 본 발명의 제 5 실시예에 따라 제작된 나노 소자 및 그의 전기적 특성을 나타낸 그래프.
- <83> 도 8은 본 발명의 제 6 실시예에 따라 제작된 나노 소자 및 그의 전기적 특성을 나타낸 그래프.
- <84> 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 제 5 실시예에 따른 나노 소자의 NO_x 가스에 대한 감응 특성을 나타낸 그래프들.
- <85> 도 10a 및 도 10b는 본 발명의 제 6 실시예에 따른 나노 소자의 NO_x 가스에 대한 감응 특성을 나타낸 그래프들.
- <86> 도 11a 및 도 11b는 본 발명의 제 6 실시예에 따른 나노 소자의 325nm 단 파장에 따른 전류의 변화량을 나타낸 그래프들.

도면

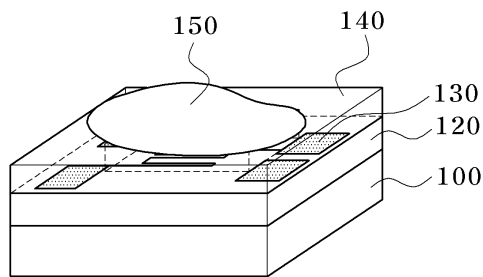
도면1a



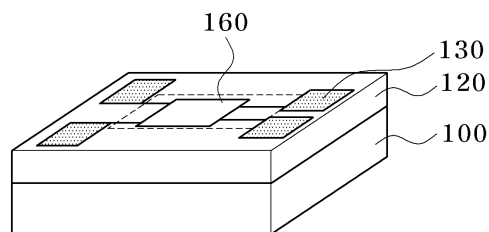
도면1b



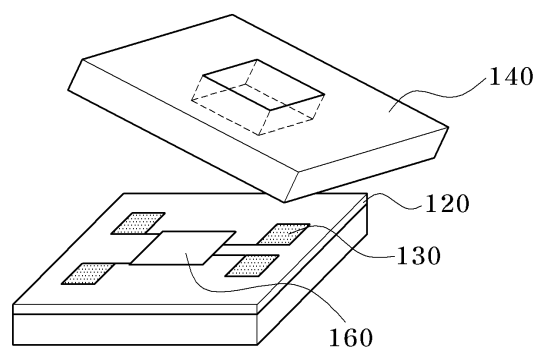
도면1c



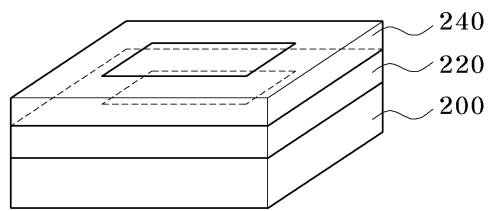
도면1d



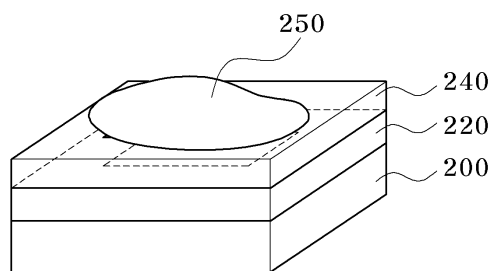
도면2



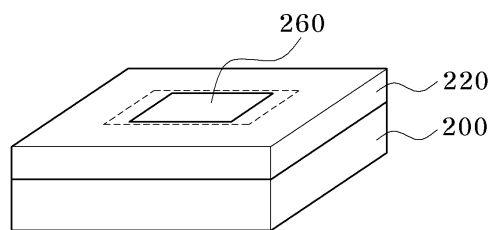
도면3a



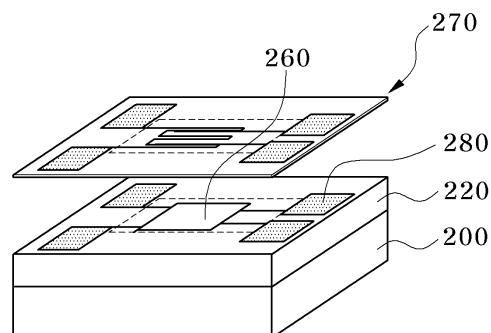
도면3b



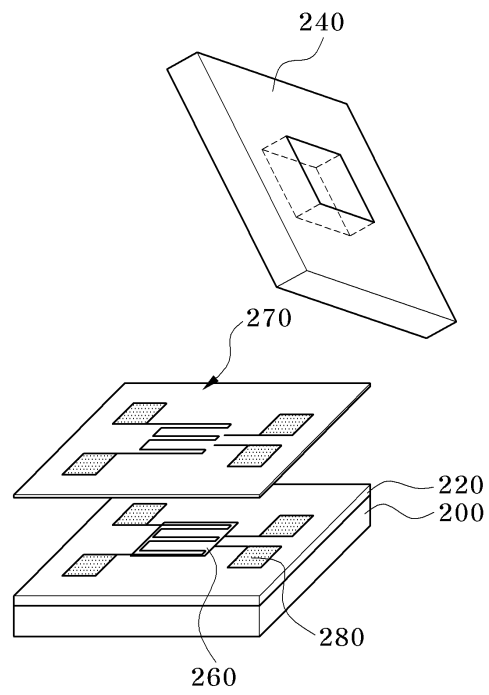
도면3c



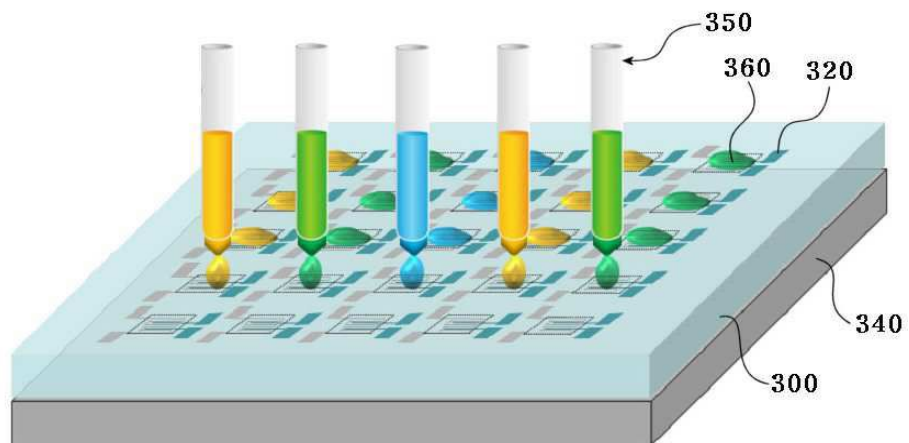
도면3d



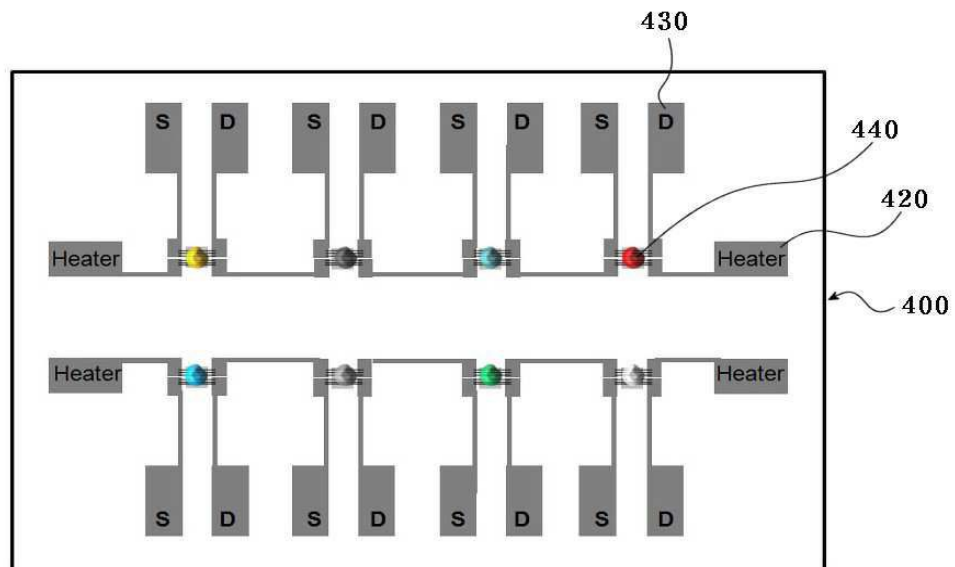
도면4



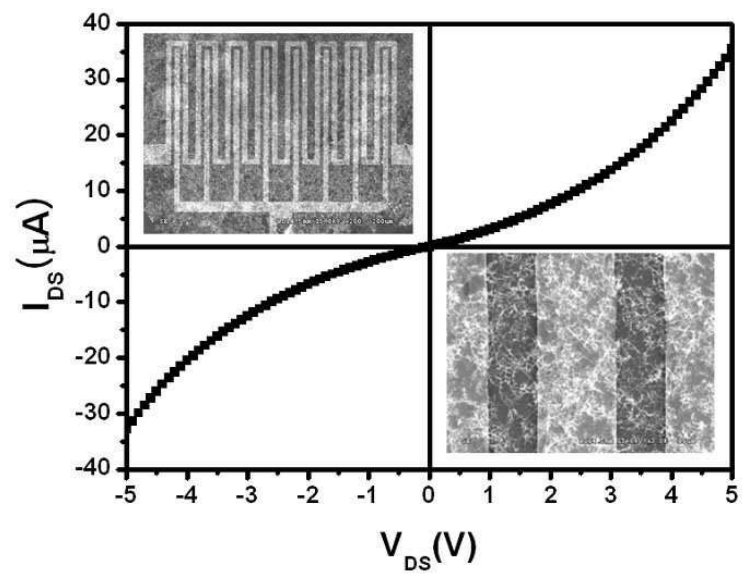
도면5



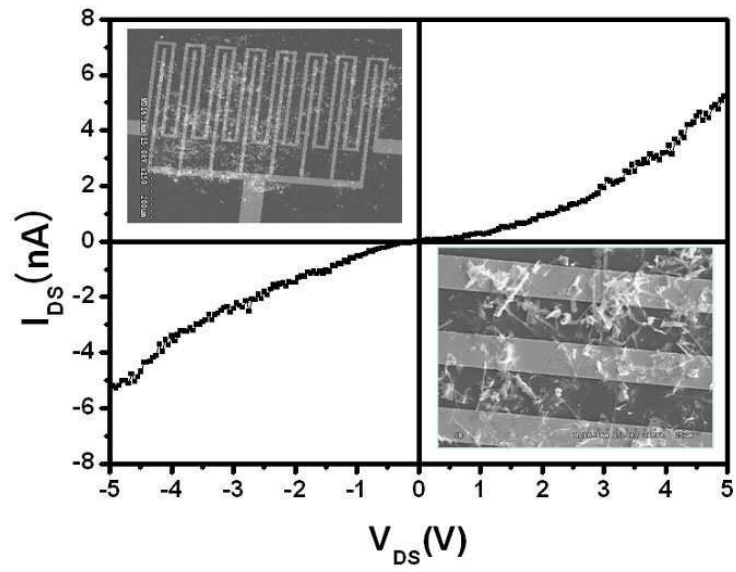
도면6



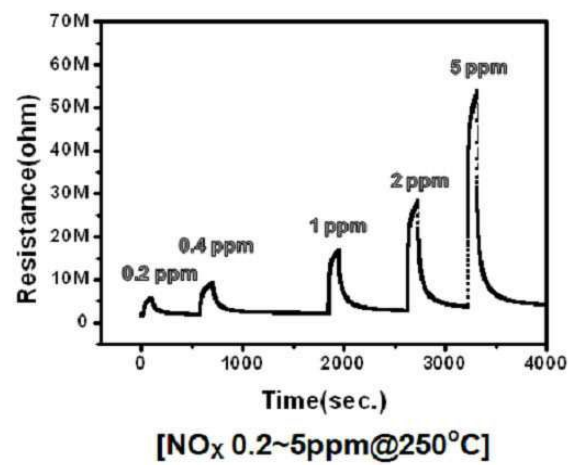
도면7



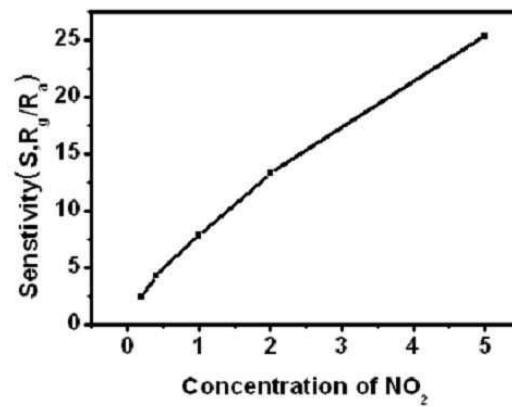
도면8



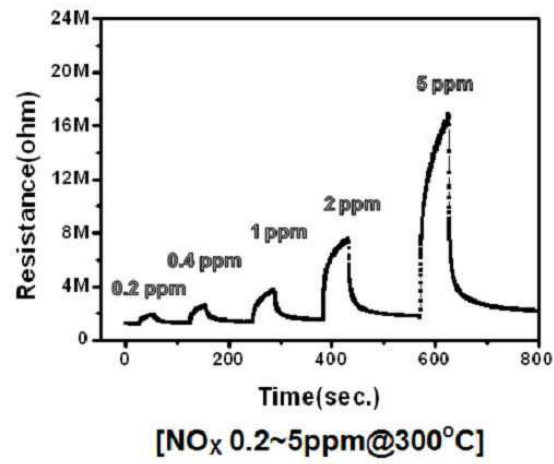
도면9a



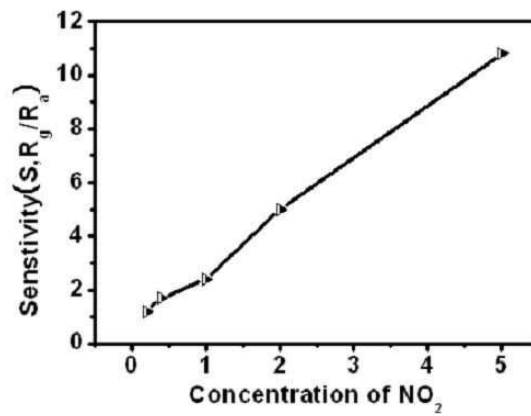
도면9b



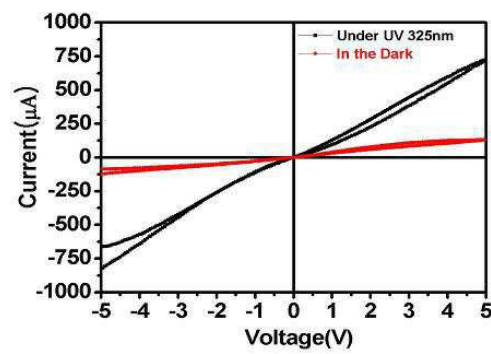
도면10a



도면10b



도면11a



도면11b

