



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2013년11월08일  
 (11) 등록번호 10-1327501  
 (24) 등록일자 2013년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G02B 6/02 (2006.01) G01N 21/00 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-0007072  
 (22) 출원일자 2013년01월22일  
 심사청구일자 2013년01월22일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020110039137 A  
 KR1020110007535 A  
 KR1020060123742 A  
 전자통신동향분석 제27권 제5호 2012년 10월 (전자통신연구원)

(73) 특허권자  
 성균관대학교산학협력단  
 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 성균관대학교 내 (천천동)  
 (72) 발명자  
 이효영  
 경기도 수원시 장안구 율전동 300번지 미주타운 801호  
 수라지트소메  
 경기도 수원시 장안구 천천동 325-37번지 평화빌라트 1층 203호  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 16 항

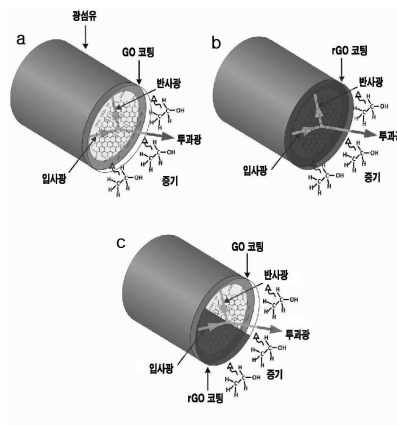
심사관 : 민경신

(54) 발명의 명칭 **그래핀 산화물 및 환원된 그래핀 산화물을 포함하는 광섬유, 및 이를 포함하는 가스 센서의 제조 방법**

**(57) 요약**

본원은, 그래핀 산화물 및 환원된 그래핀 산화물을 포함하는 광섬유, 이를 포함하는 가스 센서, 상기 광섬유의 제조 방법, 및 상기 광섬유를 포함하는 가스 센서의 제조 방법에 관한 것이다.

**대표도 - 도1**



(72) 발명자

**김태성**

서울특별시 강남구 청담동 57-18번지 301호

**허양**

경기도 수원시 장안구 천천동 300 성균관대학교 자  
연과학캠퍼스 제2종합연구동 A동 83502호

**쿨르카르니아톨**

경기도 수원시 장안구 천천동 325-12

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20120000233

부처명 교육과학기술부

연구사업명 리더연구자지원사업(창의적연구) 3단계1/3(7/9)

연구과제명 기능성 분자메모리 연구단

기 여 율 1/1

주관기관 성균관대학교 산학협력단

연구기간 2012.03.01 ~ 2013.02.28

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

코어층과 상기 코어층을 둘러싸는 클래딩층을 포함하는 광섬유에 있어서, 상기 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 접합되어 형성되어 있는, 광섬유.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 광섬유의 코어는 유리, 플라스틱 및 폴리머로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광섬유.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 광섬유가 단일모드 (single mode) 또는 멀티모드 (multimode) 광섬유를 포함하는 것인, 광섬유.

### 청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 광섬유를 포함하는 가스 센서.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

광원;

광검출기; 및

상기 광원 및 상기 광검출기 사이에 위치되는 상기 광섬유를 포함하고,

상기 광섬유의 코어층의 일 종단면에, 접합되어 형성된 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층을 감지부 (sensing part)로서 포함하는, 가스 센서.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 광섬유는 커플러 (coupler)를 추가 포함하는 것인, 가스 센서.

### 청구항 7

제 4 항에 있어서,

기체 또는 입자 상태의 감지 대상 물질을 검출할 수 있는 것인, 가스 센서.

### 청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 감지부에 포함되는 상기 접합되어 형성된 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층의 표면의 굴절률이 기체 또는 입자의 흡착에 의하여 변하는 것을 이용하여 감지 대상 물질을 검출하는 것인, 가스 센서.

**청구항 9**

제 5 항에 있어서,

상기 가스 센서가 강한 산성 (pH 2 이하) 및 염기성 (pH 10 이상) 환경 하에서 높은 감도를 유지하는, 가스 센서.

**청구항 10**

제 5 항에 있어서,

상기 가스 센서가 높은 습도 (상대 습도 50% 이상) 환경 하에서 높은 감도를 유지하는, 가스 센서.

**청구항 11**

광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고;

상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시켜 환원된 그래핀 산화물 층을 형성함으로써, 상기 광섬유 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되도록 형성하는 것

을 포함하는, 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 광섬유의 제조 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 광섬유의 코어는 유리, 플라스틱 및 폴리머로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광섬유의 제조 방법.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 광섬유가 단일모드 또는 멀티모드 광섬유를 포함하는 것인, 광섬유의 제조 방법.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,

상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시키는 것은 광조사 (photo-irradiation)에 의해 수행되는 것을 포함하는, 광섬유의 제조 방법.

**청구항 15**

광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고;

상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시켜 상기 그래핀 산화물 층과 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되도록 감

지부를 형성하고;

상기 감지부가 형성된 광섬유를 광원 및 광검출기 사이에 위치시키는 것

을 포함하는, 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 광섬유를 포함하는 가스 센서의 제조 방법.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 광섬유는 커플러를 추가 포함하는 것인, 가스 센서의 제조 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본원은, 그래핀 산화물 및 환원된 그래핀 산화물을 포함하는 광섬유, 이를 포함하는 가스 센서, 상기 광섬유의 제조 방법, 및 상기 광섬유를 포함하는 가스 센서의 제조 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 광섬유는 외부 환경에 의한 간섭이 적고 정보 손실률이 낮은 장점으로 인하여, 일반 통신망과 유선 방송, 각종 자동기기의 정보 전송용, 또는 검출용 등으로 다양한 분야에 광범위하게 이용되고 있으며, 최근에는 특히 광섬유 센서의 활용 분야가 더욱 다양해지고 있다. 광섬유를 이용한 센서는 온도나 압력에 의한 신축성, 빛의 위상차, 또는 도플러 효과 등을 이용하여 검지 기능을 나타내는데, 구체적으로는 온도, 압력센서, 자이로스코프, 속도계, 풍향계, 가스누출 센서 등 다양한 목적으로 사용되고 있다. 그 중에서도 가스, 화합물, 바이오 분자의 검출에 사용되는 센서는 오래전부터 많은 관심을 받아 왔고 많은 연구 결과들이 발표가 되고 있는 분야이다. 특히, 가스 센서는 화학, 제약, 환경, 의료 등 광범위한 분야에서 사용되어 왔고 미래에는 더욱 많은 연구가 될 것으로 예측되고 있다. 또한, 환경보전 및 안전관리 등의 사회적 요청이 증가함으로써 가스 센서에 요구되는 성능 및 사양도 고도화되고 있다.

[0003] 그러나 일반적으로 가스 센서는 특정 가스에 대한 선택성이 떨어질 뿐만 아니라, 높은 습도 및 강한 산성 또는 염기성 환경에서 감도가 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하고 선택성이 우수한 가스 센서를 개발하기 위해 많은 연구가 진행 중이다. 특히, 탄소나노튜브를 이용하여 상대 습도 80%에서 거의 무시할 수 있을 정도의 습도 방해 효과를 보고한 연구가 있었지만, 그것은 165℃의 고온에서 달성된 결과이다 [Cantalini, C. *et al.* Sensitivity to NO<sub>2</sub> and cross-sensitivity analysis to NH<sub>3</sub>, ethanol and humidity of carbon nanotubes thin film prepared by PECVD. *Sens. Actuators, B* 95, 195-202 (2003)].

[0004] 따라서, 효과적인 가스 센서의 실현을 위한 가장 어려운 문제 중 하나는 높은 습도 조건 하에서 높은 감도와 선택성을 달성하고 높은 감도를 유지하는 것이다. 가스 센서가 다른 가스들을 포함하는 매질 (media)에서 특정 가스의 존재를 검출하는 선택성은 정상 대기 조건 하에서 달성하는 것이 매우 어려울 수 있다. 이러한 식별력은 물질에 대한 분석물질 (analytes)의 다른 흡착 및 반응성 속성 때문에 가능한 것이다. 1 차원 (1D)의 반도체성 금속 산화물 나노 와이어가 다른 기체 중에도 그들의 높은 감도 때문에 매우 민감한 가스 검출을 위해, 광범위하게 연구되어 왔다. 최근의 일부 연구들은 그래핀-기반 가스 센서 내의 나노결정/나노 입자의 결합이 감도/검출 한계, 응답 시간, 또는 복구 시간의 관점에서 센서 성능을 향상시킬 수 있다고 보고하고 있다. 또한, 여러 다른 그룹들은 환원된 그래핀 산화물 (reduced graphene oxide, rGO)이 긍정적인 결과를 갖는 가스/증기 센서로서 역할을 할 수 있다고 입증하고 있다. 그러나 현재 가스 센서로 그래핀 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO)을 이용한 선택성을 입증하는 보고서는 없었고, 휘발성 유기 화합물 (VOCs)에 대한 가스 센서로서 그래핀 산화물의 이용에 관하여 출판된 연구도 없었다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0005] 본원은, 그래핀 산화물 및 환원된 그래핀 산화물을 포함하는 광섬유, 이를 포함하는 가스 센서, 상기 광섬유의 제조 방법, 및 상기 광섬유를 포함하는 가스 센서의 제조 방법을 제공하고자 한다.
- [0006] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0007] 본원의 제 1 측면은, 코어층과 상기 코어층을 둘러싸는 클래딩층을 포함하는 광섬유에 있어서, 상기 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 접합되어 형성되어 있는, 광섬유를 제공한다.
- [0008] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 광섬유를 포함하는 가스 센서를 제공한다.
- [0009] 본원의 제 3 측면은, 광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고; 상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시켜 환원된 그래핀 산화물 층을 형성함으로써, 상기 광섬유 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되도록 형성하는 것을 포함하는, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 광섬유의 제조 방법을 제공한다.
- [0010] 본원의 제 4 측면은, 광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고; 상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시켜 상기 그래핀 산화물 층과 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되도록 감지부를 형성하고; 상기 감지부가 형성된 광섬유를 광원 및 광검출기 사이에 위치시키는 것을 포함하는, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 광섬유를 포함하는 가스 센서의 제조 방법을 제공한다.

**발명의 효과**

- [0011] 전술한 본원의 과제 해결 수단에 의하면, 본원은 빛을 이용한 간단한 환원 방법을 사용하여 물리적으로 다른 친수성의 그래핀 산화물 (GO) 층 및 소수성의 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 코어층의 일 종단면 상에 접합되어 형성된 광섬유를 용이하게 제조할 수 있고, 따라서 이러한 광섬유를 포함하는 가스 센서는 감지부의 다른 두 성질을 이용하여 다양한 휘발성 유기 화합물 가스를 선택적으로 감지할 수 있다. 예를 들어, 본원에 따른 광섬유는 낮은 농도의 테트라하이드로퓨란과 디클로로메탄 사이를 구별해 낼 수 있다. 특히, 높은 습도, 및 강한 산성 또는 염기성 환경 하에서 응답이 빠르고 높은 감도를 갖는 가스 센서를 제공할 수 있다. 아울러, 가스 감지용 환경 친화적 소재인 본원의 그래핀 산화물 및 환원된 그래핀 산화물을 포함하는 광섬유를 이용하여 가스 센서의 상용화를 촉진할 수 있을 것으로 기대된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0012] 도 1은 본원의 일 실시예에 따라 형성된 광섬유를 보여주는 개략도로서, 도 1a는 그래핀 산화물 (graphene oxide, GO) 층으로 코팅된 광섬유이고, 도 1b는 환원된 그래핀 산화물 (reduced graphene oxide, rGO) 층으로 코팅된 광섬유이고, 도 1c는 본원의 일 구현예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 광섬유 코어층의 일 종단면에 접합되어 형성된 광섬유이다.
- 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 rGO 층의 형성 공정을 보여 주는 도면이다.
- 도 3a는 본원의 일 실시예에 따라 형성된 GO 층의 고해상도 X-선 광전자방출 분광법 (XPS)에 의해 측정된 C 1s의 XPS 스펙트럼이고, 도 3b는 본원의 일 실시예에 따라 형성된 rGO 층의 C 1s의 XPS 스펙트럼이고, 도 3c는 본원의 일 실시예에 따라 형성된 GO 층 및 rGO 층의 결정 구조를 나타내는 XRD 스펙트럼이고, 도 3d는 본원의 일 실시예에 따라 형성된 GO 층 및 rGO 층의 열무게 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 본원의 일 실시예에 따른 광섬유의 다양한 VOC 검출을 위한 실험 장치를 보여 주는 개략도이다.
- 도 5a는 본원의 일 실험예에 따른 GO 층으로 코팅된 폴리머 광섬유 (POF) 가스 센서의 아세톤 증기 (500 ppb 내지 500 ppm)에 대한 흡착 및 탈착 반응을 보여주는 그래프이고, 도 5b는 본원의 일 실험예에 따른 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서의 아세톤 증기 (500 ppb 내지 500 ppm)에 대한 흡착 및 탈착 반응을 보여주는 그래프이다.

도 6a는 본원의 일 실험예에 따른 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서의 다양한 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이고, 도 6b는 본원의 일 실험예에 따른 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서 및 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서 각각의 다양한 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이다.

도 7은 본원의 일 실험예에 따른 커플러에 연결되어 팁 (tip)이 두 개인 광섬유를 보여주는 개략도이다.

도 8a는 본원의 일 실험예에 따른 GO-rGO, rGO-rGO, 및 GO-GO 층을 각각의 팁에 포함하는, 팁이 두 개인 POF 가스 센서의 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이고, 도 8b는 본원의 일 실험예에 따른 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서, rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서, 및 본원의 일 구현예에 따른 GO 층 및 rGO 층이 상기 코어층의 일 종단면에 접합되어 형성된 POF 가스 센서의 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이다.

도 9는 본원의 일 구현예에 따른 POF 가스 센서의 다양한 pH에서 가스 감지 속성을 보여 주는 그래프이다.

도 10은 본원의 일 실험예에 따른 최대치 습도 환경에서 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서 및 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서의 VOC에 대한 감지 속성을 보여주는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0013] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본원을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0014] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0015] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0016] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "~(하는) 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.
- [0017] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0018] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A, 또는 B, 또는, A 및 B"를 의미한다.
- [0019] 본원 명세서 전체에서, "그래핀"이라는 용어는 복수개의 탄소 원자들이 서로 공유 결합으로 연결되어 폴리시클릭 방향족 분자를 형성한 것을 의미하는 것으로서, 상기 공유 결합으로 연결된 탄소 원자들은 기본 반복 단위로써 6 원환을 형성하나, 5 원환 및/또는 7 원환을 더 포함하는 것도 가능하다. 따라서, 상기 그래핀이 형성하는 시트는 서로 공유 결합된 탄소 원자들의 단일층으로서 보일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 그래핀이 형성하는 시트는 다양한 구조를 가질 수 있으며, 이와 같은 구조는 그래핀 내에 포함될 수 있는 5 원환 및/또는 7 원환의 함량에 따라 달라질 수 있다. 또한, 상기 그래핀이 형성하는 시트가 단일층으로 이루어진 경우, 이들이 서로 적층되어 복수층을 형성할 수 있으며, 상기 그래핀 시트의 측면 말단부는 수소 원자로 포화될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0020] 본원 명세서 전체에서, "그래핀 산화물"이라는 용어는 그래핀 옥사이드 (graphene oxide)라고도 불리우고, "GO"로 약칭될 수 있다. 단일층 그래핀 상에 카르복실기, 히드록시기, 또는 에폭시기 등의 산소를 함유하는 작용기가 결합된 구조를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0021] 본원 명세서 전체에서, "환원된 그래핀 산화물"이라는 용어는 환원 과정을 거쳐 산소 비율이 줄어든 그래핀 산화물을 의미하는 것으로서, "rGO"로 약칭될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0022] 본원 명세서 전체에서, "그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 접합되어 형성되어 있는"



이라는 표현은 광섬유 말단의 코어층의 동일한 일 종단면 상에 GO 층 및 상기 rGO 층이 접합되어 결합을 이룬 상태로 배열되어 있음을 의미하는 것으로서, "GO/rGO 배열의" 또는 "GO/rGO로 코팅된"으로 표현할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

- [0023] 본원 명세서 전체에서, "VOC"라는 용어는 휘발성 유기 화합물을 의미하는 것으로서, 복수형인 VOCs로 쓰일 수 있으며, 예를 들어, 에탄올, 니트로메탄, 아세톤, 메탄올, 테트라하이드로퓨란 (THF), 디에틸아민, 히드라진, 디클로로메탄 (MC), 또는 이들의 조합을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0024] 본원 명세서 전체에서, "POF"라는 용어는 폴리머 광섬유 (polymeric optical fiber)를 의미하는 것으로서, 코어 층 및/또는 클래딩층이 각각 하나 이상의 고분자 재질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0025] 이하, 본원의 구현예 및 도면을 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0026] 본원의 제 1 측면은, 코어층과 상기 코어층을 둘러싸는 클래딩층을 포함하는 광섬유에 있어서, 상기 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 접합되어 형성되어 있는, 광섬유를 제공한다.
- [0027] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광섬유의 코어는 유리, 플라스틱 및 폴리머로 이루어진 균으로부터 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0028] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광섬유가 단일모드 (single mode) 또는 멀티모드 (multimode) 광섬유를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0029] 본원의 제 2 측면은, 본원의 제 1 측면에 따른 광섬유를 포함하는 가스 센서를 제공한다.
- [0030] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 가스 센서는, 광원; 광검출기; 및, 상기 광원 및 상기 광검출기 사이에 위치되는 상기 광섬유를 포함하고, 상기 광섬유의 코어층의 일 종단면에, 접합되어 형성된 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층을 감지부 (sensing part)로서 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0031] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광원은 UV, VIS, 또는 IR 전 영역의 광원을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0032] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광섬유는 커플러 (coupler)를 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 커플러는 Y-커플러 또는 T-커플러일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0033] 상기 감지부는 광섬유 말단의 일 종단면에 그래핀 산화물 층을 코팅하고, 그 코팅층의 일부를 환원시켜 수득한, 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층이 광섬유 말단의 일 종단면에, 접합되어 형성된 것이다.
- [0034] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 가스 센서는 기체 또는 입자 상태의 감지 대상 물질을 검출할 수 있는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0035] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 가스 센서의 감지부에 포함되는 상기 접합되어 형성된 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층 표면의 굴절률이 기체 또는 입자의 흡착에 의하여 변하는 것을 이용하여 감지 대상 물질을 검출하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원에 따른 상기 가스 센서에 있어서 상기 광섬유 가스 센서의 감지부의 그래핀 산화물 층 및 상기 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되어 형성되어 있는 표면의 굴절률이 가스 및 입자 등의 흡착에 따라 민감하게 반응하기 때문에 반도체 및 환경 기술 분야 등의 다양한 분야에서 가스 및 파티클 (에어로졸, 나노 입자 등) 제어 센서, 환경 오염에 대한 모니터링, 화학적 성분 분석, 또는 NO<sub>x</sub> 모니터링 등의 용도로서 폭넓게 응용을 할 수 있다. 예를 들어, 상기 가스 센서는 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, DMMP, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>OH, LPG, H<sub>2</sub>S, 벤젠, CH<sub>3</sub>SH, 톨루엔, VOC 및 이들의 조합들로 이루어진 균에서 선택되는 화합물의 가스 또는 입자를 감지할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0036] 본원에 따르면, 상기 가스 센서는 VOC 가스를 선택적으로 감지할 수 있다. 상기 가스 센서는 친수성의 그래핀 산화물 층 및 소수성의 환원된 그래핀 산화물 층이 상기 광섬유 코어층의 일 종단면 상에 접합되어 형성된 감지부를 포함하므로, 성질이 다른 두 그래핀 산화물 층으로 이루어진 상기 감지부의 표면에 흡착되는 다양한 VOC 가스를 선택적으로 감지할 수 있다. 상기 가스 센서는 가스 센서 분야에서 가장 어려운, 예를 들어, 테트라하



이드로플루란과 디클로로메탄 사이를 고감도로 구별해 낼 수 있다.

- [0037] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 가스 센서가 강한 산성 (pH 약 2 이하) 및 염기성 (pH 약 10 이상) 환경 하에서 높은 감도를 유지할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0038] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 가스 센서가 높은 습도 (상대 습도 약 50% 이상) 환경 하에서 높은 감도를 유지할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0039] 본원에 따른 상기 가스 센서는 다양한 산소 작용기를 포함하는 그래핀 산화물 층을 포함하므로, 높은 습도, 및 강한 산성 또는 염기성 환경 하에서도 응답이 빠르고 높은 감도를 유지할 수 있다.
- [0040] 본원의 제 3 측면은, 광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고; 상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시켜 환원된 그래핀 산화물 층을 형성함으로써, 상기 광섬유 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되도록 형성하는 것을 포함하는, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 광섬유의 제조 방법을 제공한다.
- [0041] 도 1은 본원의 일 실시예에 따라 형성된 광섬유를 보여주는 개략도로서, 도 1a는 광섬유의 말단의 일 종단면이 그래핀 산화물 (graphene oxide, GO) 층으로만 코팅된 광섬유이고, 도 1b는 환원된 그래핀 산화물 (reduced graphene oxide, rGO) 층으로만 코팅된 광섬유이고, 도 1c는 본원의 일 구현예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층이 광섬유 코어층의 일 종단면에 접합되어 형성된 광섬유이다.
- [0042] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 코팅 단계 이전에 광섬유의 말단을 종 방향으로 절단하고 그 일 종단면이 평면이 되도록 다듬는 과정을 거칠 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 다듬는 과정을 거친 상기 광섬유는 상기 일 종단면에 그래핀 산화물 (GO) 용액을 적하하고, 이를 건조시켜 상기 광섬유 상기 일 종단면 상에 그래핀 산화물 (GO) 층을 형성 또는 코팅할 수 있으나 (도 1a 참조), 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0043] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광섬유의 코어는 유리, 플라스틱 및 폴리머로 이루어진 균으로부터 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0044] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광섬유가 단일모드 또는 멀티모드 광섬유를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0045] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시키는 것은 광조사 (photo-irradiation)에 의해 수행되는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 광조사시 그 파장은 약 1 nm 내지 약  $10^6$  nm 범위의 빛을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0046] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광조사 기간은 약 3,000 초 이하, 예를 들어, 약 1 초 내지 약 3,000 초 동안 수행하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0047] 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층의 형성 공정을 보여 주는 도면이다. 예를 들어, 일 종단면에 상기 그래핀 산화물 (GO) 층이 코팅된 광섬유를 고정시키고, 도 2에 나타난 바와 같이, 상기 그래핀 산화물 (GO) 층 코팅면의 절반을 인화지로 가린 후, 수렴 렌즈를 이용하여 인화지로 가려지지 않은 부분에 광조사, 예를 들어, 가시 광선 또는 태양 광선을 조사하면 상기 그래핀 산화물 (GO) 층을 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층으로 환원시킬 수 있고, 절반의 그래핀 산화물 (GO) 층 및 절반의 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층을 모두 포함하는 GO/rGO 배열의 광섬유 (도 1c 참조)를 수득할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0048] 본원의 제 4 측면은, 광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고; 상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시켜 상기 그래핀 산화물 층과 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되도록 감지부를 형성하고; 상기 감지부가 형성된 광섬유를 광원 및 광검출기 사이에 위치시키는 것을 포함하는, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 광섬유를 포함하는 가스 센서의 제조 방법을 제공한다.
- [0049] 상기 광섬유 코어층의 일 종단면 상에 그래핀 산화물 층을 코팅하고 상기 그래핀 산화물 층의 일부를 환원시키는 상기 본원의 제 3 측면의 방법을 통하여 상기 광섬유 코어층의 일 종단면에 그래핀 산화물 층 및 환원된 그래핀 산화물 층이 접합되어 형성된, 광섬유를 포함하는 감지부를 제조하고, 이를 상기 광원 및 광검출기 사이에 위치시킴으로써 본원의 광섬유 가스 센서를 완성할 수 있다.

[0050] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광섬유는 커플러 (coupler)를 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 커플러는 Y-커플러 또는 T-커플러일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0051] 이하, 실시예 및 도면을 이용하여 본원을 좀더 구체적으로 설명하지만, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0052] [실시예]

[0053] <제조예> 그래핀 산화물의 제조

[0054] 그래핀 산화물은 자연의 그래파이트 분말을 황산, 칼륨 과망간산염, 및 질산 나트륨으로 처리하여 Hummers와 Offenman의 방법에 의하여 제조하였다.

[0055] <실시예 1> GO 층으로 코팅된 폴리머 광섬유의 제조

[0056] 폴리머 광섬유 (POF)는 예리한 칼로 재단하고 그 종단면을 균일하고 평평한 단면이 되도록 다듬었다. 3 μL 1 mg/mL 그래핀 산화물 (GO) 용액을 상기 POF의 다듬은 상기 종단면에 적하하였고, 상기 GO를 적하한 POF를 연속적으로 60°C에서 건조시켜 상기 종단면에 GO 코팅층을 형성함으로써 GO 층으로 코팅된 POF를 제조하였다 (도 1a 참조).

[0057] <실시예 2> GO/rGO 배열의 폴리머 광섬유의 제조

[0058] 실시예 1에서 제조한 상기 GO 층으로 코팅된 POF는 고정시키고 상기 코팅된 종단면의 절반을 인화지로 덮었다. 수렴 렌즈를 사용하여 인화지에 가려지지 않은 GO 코팅층의 나머지 절반에 태양광을 집중 조사시켰다. 상기 인화지를 제거함으로써, 감지부 (sensing part)로서 절반의 GO 층 및 절반의 rGO 층이 접합되어 형성된, GO/rGO 배열의 구조를 갖는 POF를 얻었다 (도 1c 참조).

[0059] <실시예 3> rGO 층으로 코팅된 폴리머 광섬유의 제조

[0060] 대조 실험을 위하여, 실시예 1에서 제조한 상기 GO 층으로 코팅된 POF의 종단면에 인화지 없이 수렴 렌즈를 이용하여 태양광을 조사하여 rGO 층으로 코팅된 POF를 얻었다 (도 1b 참조).

[0061] <실시예 4> GO, rGO, 및 GO/rGO 층으로 코팅된 폴리머 광섬유의 특성 분석

[0062] 실시예 1 내지 실시예 3에서 얻은 POF에 대하여 특성 분석 실험을 수행하였다. 모든 X-선 광전자방출 분광법 (XPS) 측정은 100 W에서 단색 Al-Kα X-선 소스를 이용하는 SIGMA PROBE (ThermoVG, 영국)에 의해 수행되었다. XRD 패턴은 Cu-Kα 방사선을 이용하는 D8 Advance instrument (독일)를 사용하여 취득하였다. rGO의 열적 특성은 TGA (고분자 연구소, TGA 1000 플러스)에 의해 측정되었고, 그 분석 결과는 도 3에 나타내었다.

[0063] 도 3a는 본 실시예에 따라 형성된 그래핀 산화물 (GO) 층의 고해상도 X-선 광전자방출 분광법 (XPS)에 의해 측정된 C 1s의 XPS 스펙트럼이고, 도 3b는 본 실시예에 따라 형성된, 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층의 C 1s의 XPS 스펙트럼이고, 도 3c는 본 실시예에 따라 형성된 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층의 결정 구조를 나타내는 XRD 스펙트럼이고, 도 3d는 본 실시예에 따라 형성된 그래핀 산화물 (GO) 층 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층의 열무게 분석 결과를 나타낸 그래프이다. 도 3a에 나타난 바와 같이, 본 실시예에서 제조된 상기 GO 층은 매우 높은 산소 원자 비율 (C/O = 2.2)을 보였다. 이에 대조적으로, 도 3b에 나타난 바와 같이, rGO 층의 C/O 비율은 11.6이었다. XPS 데이터를 바탕으로, 본 실시예에 따른 rGO 층이 높은 품질로 환원되었음을 확인할 수 있었고, GO 층에 비교하여 훨씬 적은 양의 산소를 포함하고 있다는 결론을 내렸다. 본 실시예에 따른 GO 층 및 rGO 층의 XRD의 스펙트럼을 통해서도 GO 층이 rGO 층으로 환원되었음을 확인할 수 있었다 (도 3c 참조). TGA는 GO 층에 비교했을 때 rGO 층의 품질을 평가하기 위해 사용되었다. 본 실시예에 따른 GO 층 및 rGO 층의 TGA 플롯 (plot)은 도 3d에 나타내었다. 도 3d에 나타난 바와 같이, 본 실시예에 따른 GO 층의 경우에, 무게의 대부분이 100°C 내지 200°C 사이에 유실되었다. 이것은 열분해 동안 가장 불안정한 작용

기로부터 CO 및 CO<sub>2</sub>가 배출되었음을 나타내는 것이다. 700°C 미만의 온도에서, 본 실시예에 따른 GO 층의 전체 중량 소실은 72%였다. 한편, 본 실시예에 따른 rGO 층의 전체 중량 소실은 18.6%였다.

[0064] **<실시예 5> GO/rGO 배열의 POF 가스 센서의 제조**

[0065] 도 4는 본 실시예에 따른 광섬유의 다양한 VOC 검출을 위한 실험 장치를 보여 주는 개략도이다.

[0066] 반사 신호 검출을 위해, 실시예 1 내지 실시예 3에서 제조된 POF, 광원, 및 광검출기 인터페이스 간에 서로 연결될 수 있는 1×2 광섬유 커플러 (50:50, 광섬유 산업 주식회사, IF-562)가 사용되었다. 상기 실시예 1 내지 실시예 3에서 제조한 POF를 Y-커플러를 이용하여 광원 및 광검출기 사이에 위치시킴으로써 가스 센서를 완성하였다 (도 4 참조).

[0067] **<실험예 1> GO 층 및 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서를 이용한 VOC 검출**

[0068] 도 4에 나타난 바와 같이, GO 층으로 코팅된 POF, 및 rGO 층으로 코팅된 POF의 그 코팅된 종단면을 각각의 실험 챔버에 위치시키고 다양한 VOC 농도를 얻기 위해 미리 숙지된 양의 VOC를 주입하였다. 상기 VOC는 히드라진, 에탄올, 메탄올, 디클로로메탄, 아세톤, 테트라하이드로퓨란, 니트로메탄, 및 디에틸아민 등을 사용하였다. 센서 성능은 파란색 광원 (스펙트럼 범위 450 nm 내지 495 nm, 광 전력 2 mW)을 사용하여 평가되었다. 반사광 강도는 350 nm 내지 1100 nm의 스펙트럼 범위를 갖고, 컴퓨터 인터페이스 디지털 멀티 미터 (2700, Keithley)와 연결된 광 다이오드 검출기 (PDA36A, Thorlab)를 사용하여 측정되었다. 신호 복구 (signal recover)를 돕기 위해 UV 조사 (254 nm, VL-4.LC)가 실험이 진행되는 동안 필요에 따라 이용되었다. 모든 실험은 실온의 어두운 방에서 수행되었고, 그 실험 결과는 도 5 및 도 6에 나타내었다.

[0069] 도 5a는 본 실험예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 층으로 코팅된 폴리머 광섬유 (POF) 가스 센서의 아세톤 증기 (500 ppb 내지 500 ppm)에 대한 흡착 및 탈착 반응을 보여주는 그래프이고, 도 5b는 본 실험예에 따른 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 아세톤 증기 (500 ppb 내지 500 ppm)에 대한 흡착 및 탈착 반응을 보여주는 그래프이다. 도 5a 및 도 5b에 나타난 바와 같이, 본 실시예의 가스 센서에 아세톤 증기를 500 ppb 내지 500 ppm의 농도로 연속 주입하는 동안 상기 GO 층 또는 상기 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서는 반사광출력 (reflected optical power)의 변화를 기록했고 상기 아세톤 증기의 희석률이 클수록 적은 반사광출력 변화를 나타내었다. 또한, 상기 POF가 GO 층으로만 코팅된 경우 rGO 층으로만 코팅된 경우보다 기준선 (baseline)으로 돌아가는 시간이 더 빠른 것으로 관찰되었는데, 이것은 상기 GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 회복이 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서보다 우수하다는 것을 의미하는 것이다.

[0070] 도 6a는 본 실험예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 다양한 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이고, 도 6b는 본 실험예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서 각각의 다양한 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이다. 도 6a 및 도 6b에 나타난 바와 같이, 상기 GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서 및 상기 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서는 500 ppb의 매우 낮은 농도의 다양한 증기에 대하여 다른 민감도 (sensitivity)를 보임을 확인할 수 있었다. 상기 GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서 및 상기 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 반사광응답 (reflected optical response)의 강도는 각각 같은 농도에서 디에틸아민 및 니트로메탄 증기에 대해서 최고였고, 각각 메탄올 및 디클로로메탄 증기에 대해 최저였다. 또한, 상기 GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서는 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서에 비해 극성 작용기를 함유하는 VOC에 대해서 더욱 높은 감도를 나타내었다.

[0071] **<실험예 2> GO를 포함하는 POF 가스 센서를 이용한 반사광응답의 강도 측정**

[0072] 도 7은 본 실험예에 따른 커플러에 연결되어 팁 (tip)이 두 개인 광섬유를 보여주는 개략도이다.

[0073] GO 층 및 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서의 VOC에 대한 선택성 (selectivity)을 확인하기 위하여 도 7에 나타난 바와 같이, 팁이 두 개인 POF를 이용하여 반사광응답의 강도를 측정하였다. 이때, 상기 팁이 두 개인 POF는 그 팁의 코팅층이 각각 GO-rGO, rGO-rGO, 및 GO-GO로 코팅된 것을 이용하였고, 그 실험 결과는 도 8a에 나타내었다.

[0074] 도 8a는 본 실험예에 따른 GO-rGO, rGO-rGO, 및 GO-GO를 각각 포함하는, 텃이 두 개인 POF 가스 센서의 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이다. 상기 GO를 포함하는 POF 가스 센서들은 VOC에 대해 분명히 선택성을 보였다. 도 8a에 나타난 바와 같이, 디클로로메탄에 대하여 상기 GO-rGO의 POF 가스 센서는 상기 rGO-rGO의 POF 가스 센서의 응답의 절반의 수치를 나타내었고, THF에 대하여 상기 GO-rGO의 POF 가스 센서는 상기 GO-GO의 POF 가스 센서의 응답의 절반의 수치를 나타내었다. 따라서, 친수성 GO가 가스 센서로 이용될 때 가스에 대한 선택성을 보임을 확인할 수 있었다.

[0075] <실험예 3> GO/rGO 배열의 POF 가스 센서를 이용한 반사광응답의 강도 측정

[0076] 본 실시예에 따른 GO 층 및 rGO 층이 상기 코어층의 일 중단면에 접합되어 형성된 (GO/rGO 배열의) POF 가스 센서의 VOC에 대한 선택성을 확인하기 위하여 실험예 2와 동일한 방법으로 반사광 측정 실험을 수행하였고, 그 결과를 도 8b에 나타내었다.

[0077] 도 8b는 본 실험예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서, 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서, 및 본원의 일 구현예에 따른 그래핀 산화물 (GO) 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO)이 상기 코어층의 일 중단면에 접합되어 형성된, GO/rGO 배열의 POF 가스 센서의 VOC에 대한 감지 응답을 보여 주는 그래프이다. 도 8b에 나타난 바와 같이, 디클로로메탄에 대하여 본 실시예에 따른 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서는 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 응답의 절반의 수치를 나타내었고, THF에 대하여 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서는 GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 응답의 절반의 수치를 나타내었다. 또한, 에탄올에 대해서는 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서의 반사광응답은 GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 응답보다 낮게 관찰되었고, rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 응답보다 더 높았는데, 이는 에탄올에 대한 GO 및 rGO의 감도 차이로 인해 타당한 것이다. 이러한 결과를 바탕으로, 본 실시예에 따른 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서를 이용하여 미지의 가스 혼합물에 대하여 그 혼합물의 비율을 구별해 낼 수 있다.

[0078] <실험예 4> GO/rGO 배열의 POF 가스 센서의 가스 혼합물 분석 평가

[0079] 혼합 가스의 혼합 비율을 구별하기 위하여 500 ppb 농도의 디클로로메탄, THF, 및 그들의 혼합물에 대하여 본 실시예에 따른 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서 (도 1c 참조), GO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서 (도 1a 참조) 및 rGO 층으로만 코팅된 POF 가스 센서 (도 1b 참조)를 이용하여 감도 응답 (sensitivity response) 실험을 수행하였고, 각 가스 센서에 대한 감도 응답 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1

	GO	rGO	GO/rGO	MC:THF의 비율
MC	0	-0.03728303	-0.02086807	-
THF	-0.08868249	0	-0.04040823	-
MC:THF (50:50)	-0.04143215	-0.02245723	-0.03122931	~ 50:50
MC:THF 혼합물 1	-0.05877224	-0.01396425	-0.03655617	~ 30:70
MC:THF 혼합물 2	-0.02667822	-0.03224376	-0.02859109	~ 70:30

[0081] 표 1에 나타난 바와 같이, 본 실시예에 따른 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서의 MC에 대한 rGO 층, 및 THF에 대한 GO 층의 감도 강도 (sensitivity intensity)는 같은 농도에 대해 약 1:2의 비율이었고 (도 7b 참조), 심지어 MC:THF의 50:50 혼합물의 존재 시에도 상기 강도의 비율이 유지됨을 확인하였다. VOCs 가스 또는 그들의 가스 혼합물에 대한 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서, 및 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서의 감도 강도 수치를 합한 총 감도 강도는 본 실시예에 따른 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서의 감도 강도보다 두 배 수치였다. 이러한 감도 강도 응답 결과를 바탕으로, 혼합 비율을 알 수 없는 MC:THF 혼합물 1 및 MC:THF 혼합물 2의 가스 비율을 예측해본 결과, MC:THF의 혼합비는 각각 ~ 30:70 및 ~ 70:30임을 확인하였다.

[0082] <실험예 5> GO를 포함하는 POF 가스 센서의 pH에 따른 감도 변화 측정

[0083] GO가 극한의 강산 또는 염기 조건 하에서 감지 능력 및 흡착에 중요한 역할을 한다는 것을 증명하기 위하여 pH

값 (1, 5, 7, 및 11)이 상이한 GO 현탁액에서 에탄올, 니트로메탄, 및 디에틸아민 증기에 대한 감지 능력 시험을 수행하였고, 그 결과를 도 9에 나타내었다.

[0084] 도 9는 본 일 실험예에 따른 POF 가스 센서의 다양한 pH에서 가스 감지 속성을 보여 주는 그래프이다. pH 1 및 11에서, 상기 GO는 많은 양의 양전하 또는 음전하를 포함할 수 있다. 따라서 도 9에 나타난 바와 같이, pH가 7일 때의 결과와 비교하여 더 훨씬 더 높은 감도를 보여주었고, pH가 5일 때와 비교해서도 더 높은 감도를 나타내었다. 이것은 본 실시예에 따른 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서가 강한 산성 또는 염기성 조건에서도 높은 감도를 보인다는 것을 확인시켜 주는 결과이다.

[0085] <실험예 6> GO를 포함하는 POF 가스 센서의 습도에 따른 감도 변화 측정

[0086] 본 실시예에 따른 상기 GO/rGO 배열의 POF 가스 센서가 높은 습도 하에서 높은 감도를 나타냄을 증명하기 위하여 최대치의 습도 조건에서 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서 및 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서를 이용하여 500 ppb 농도의 에탄올, 니트로메탄, 아세톤, 메탄올, THF, 디에틸아민, 히드라진, 및 디클로로메탄에 대한 감지 응답 실험을 수행하였고, 그 결과를 도 10에 나타내었다.

[0087] 도 10은 본 실험예에 따른 최대치 습도 환경에서 그래핀 산화물 (GO) 층으로 코팅된 POF 가스 센서 및 환원된 그래핀 산화물 (rGO) 층으로만 코팅된 POF 가스 센서의 여러 VOCs에 대한 감지 속성을 보여주는 그래프이다. 도 10에 나타난 바와 같이, 상기 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서는 rGO 층으로 코팅된 POF 가스 센서에 비해 높은 감도로 높은 습도 조건에서 VOCs를 감지할 수 있었다. 상기 GO 층으로 코팅된 POF 가스 센서는 에탄올 (상대 습도 90%), 니트로메탄 (상대 습도 50%), 아세톤 (상대 습도 80%), 메탄올 (상대 습도 90%), THF (상대 습도 90%), 디에틸아민 (상대 습도 60%), 히드라진 (상대 습도 60%)에 대해 높은 감도를 보임을 확인하였다.

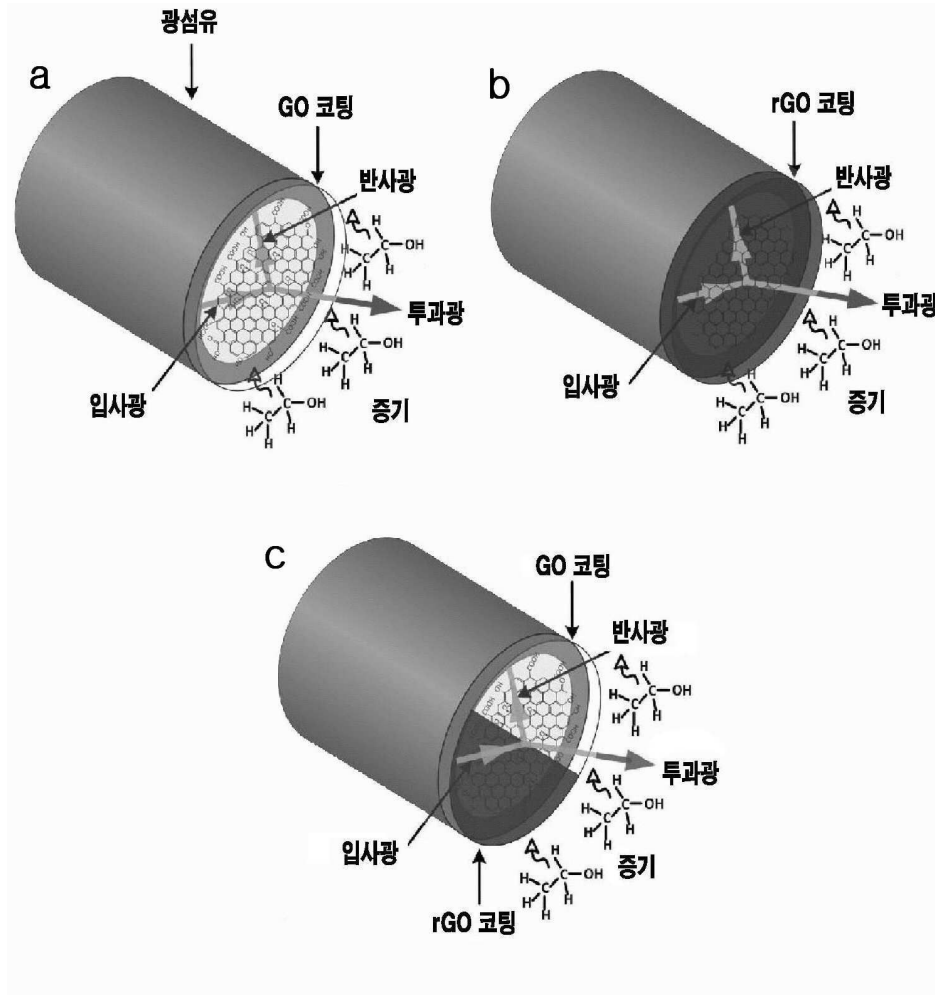
[0088] 기술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

[0089] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

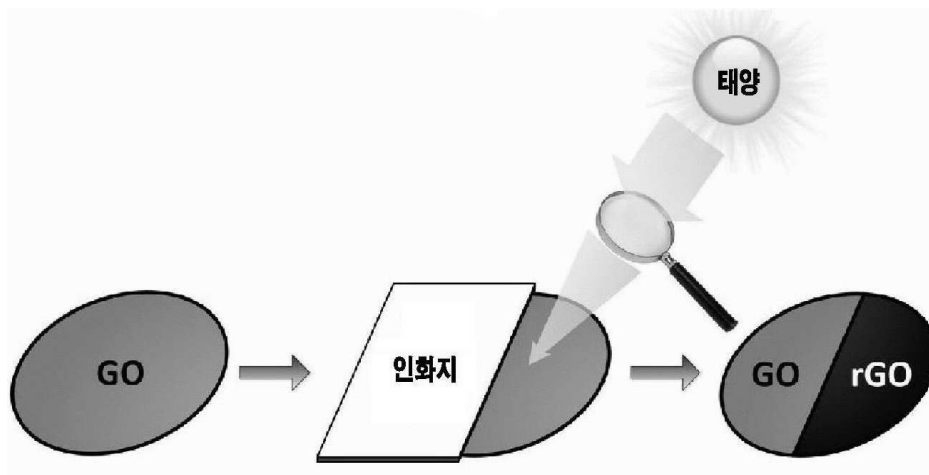


도면

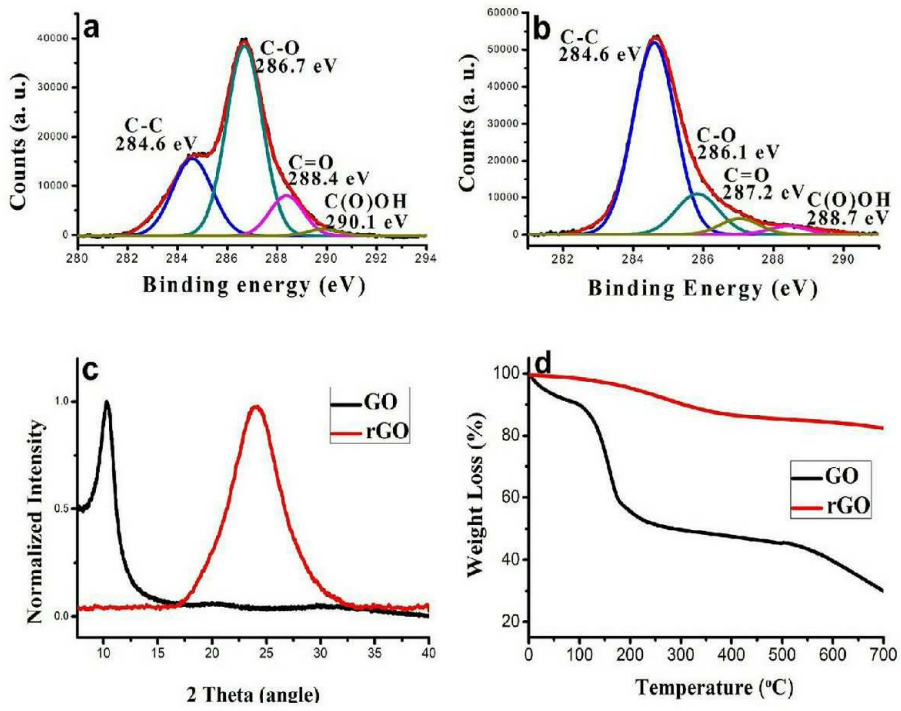
도면1



도면2

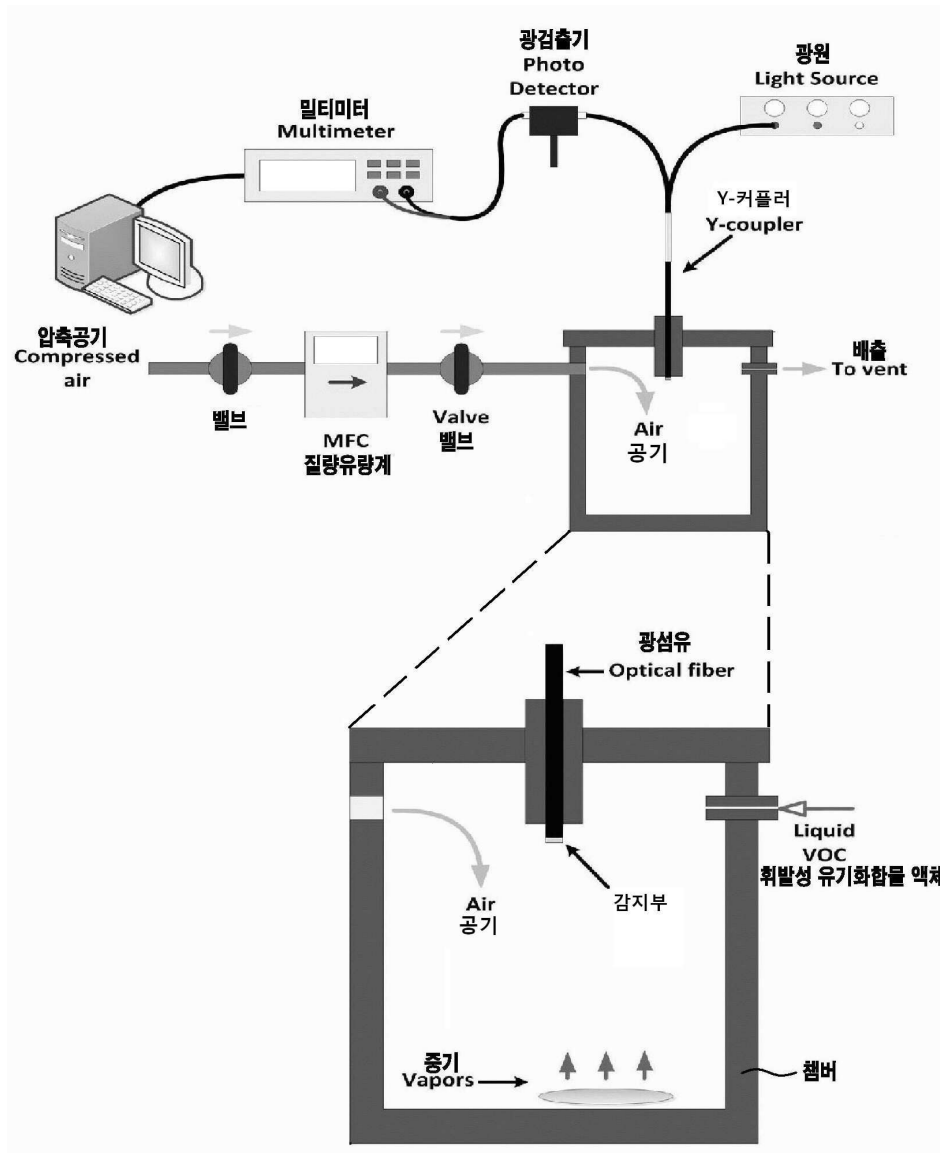


도면3

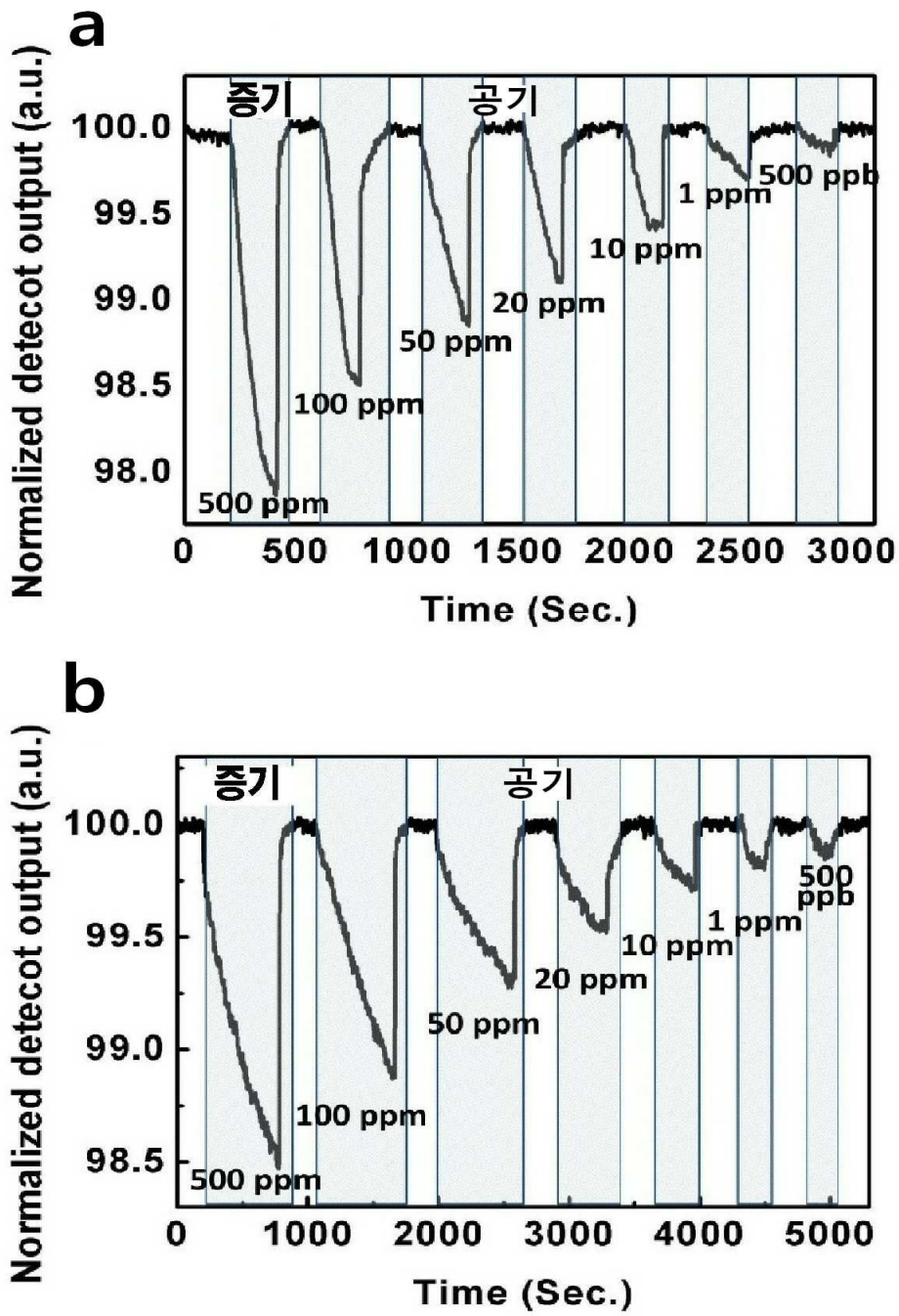




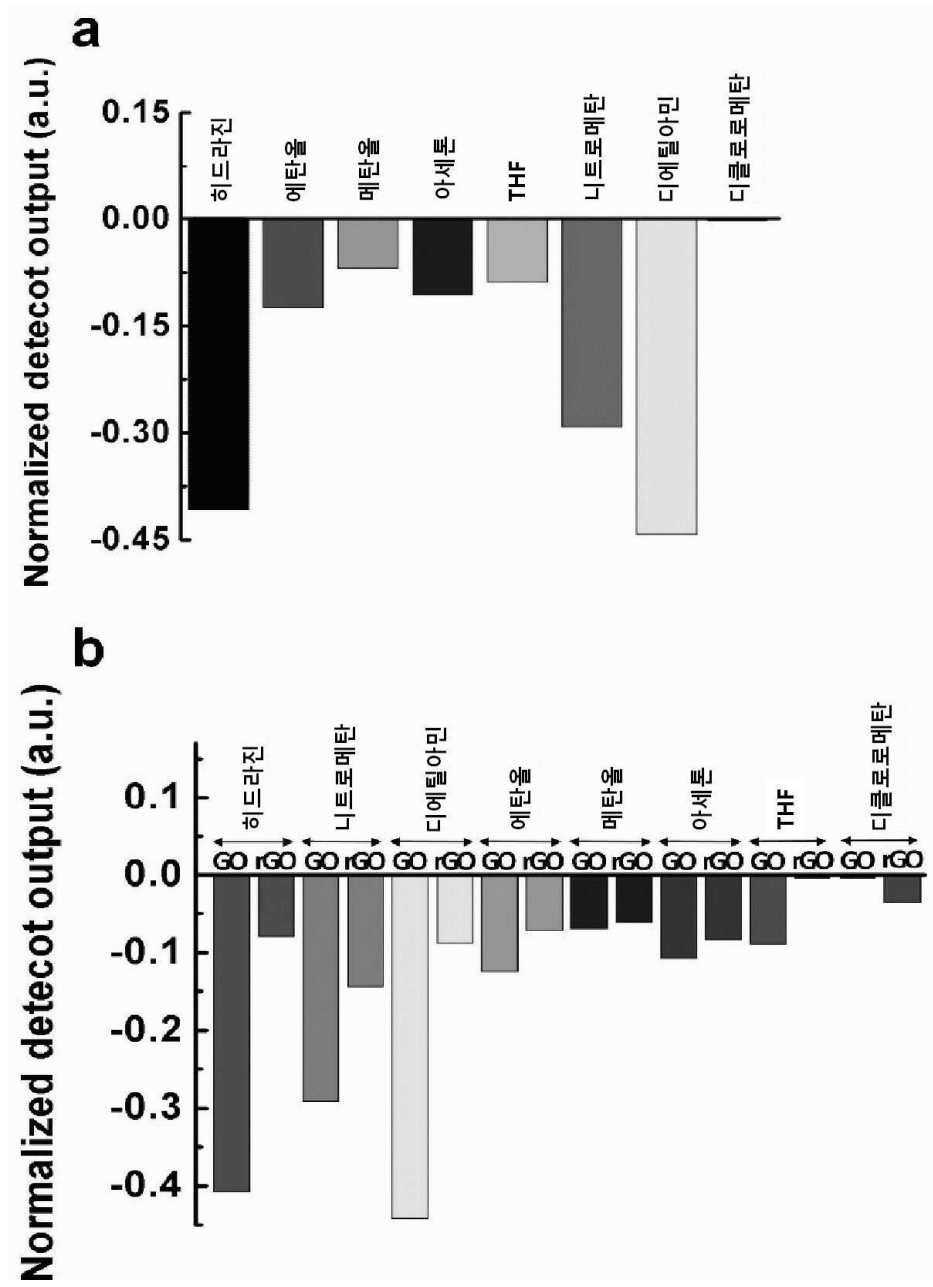
도면4



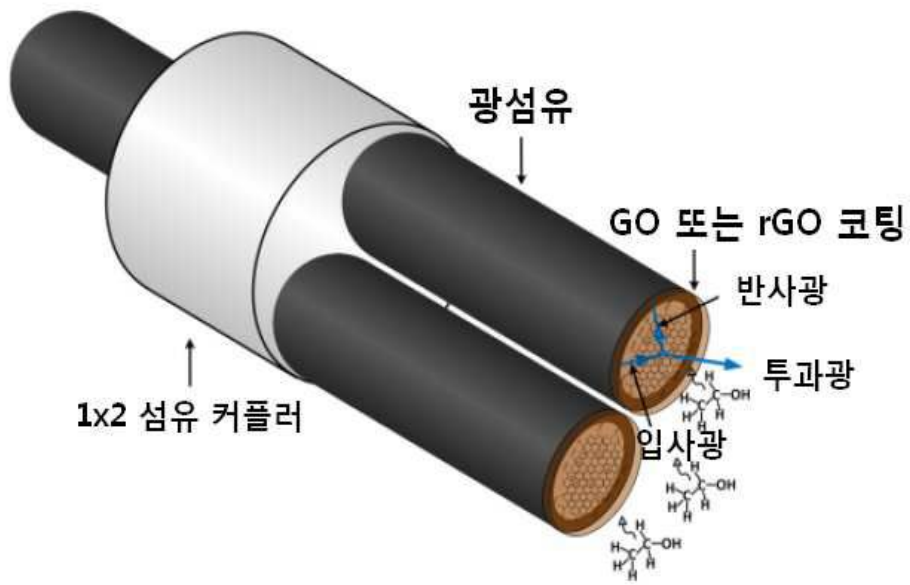
도면5



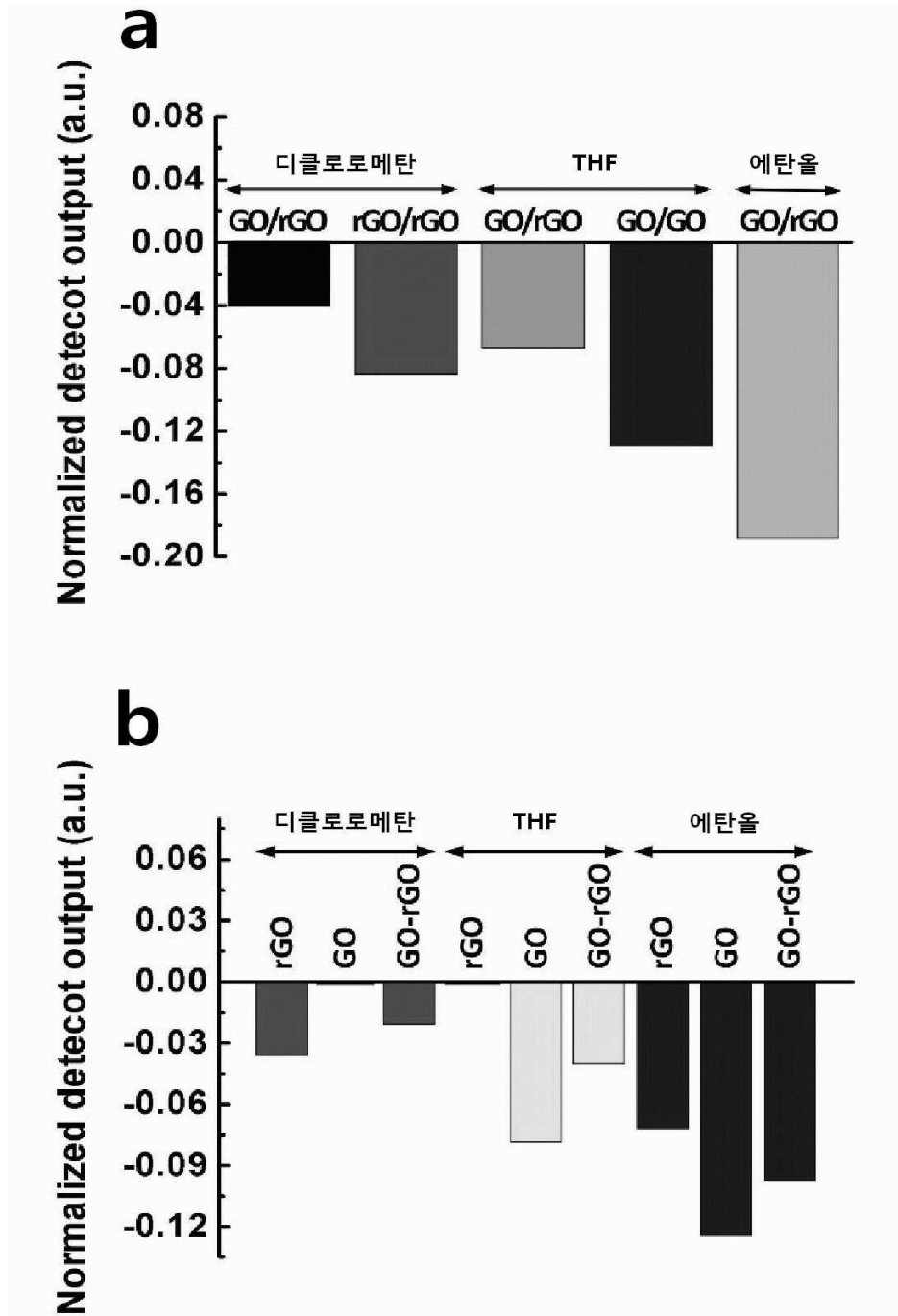
도면6



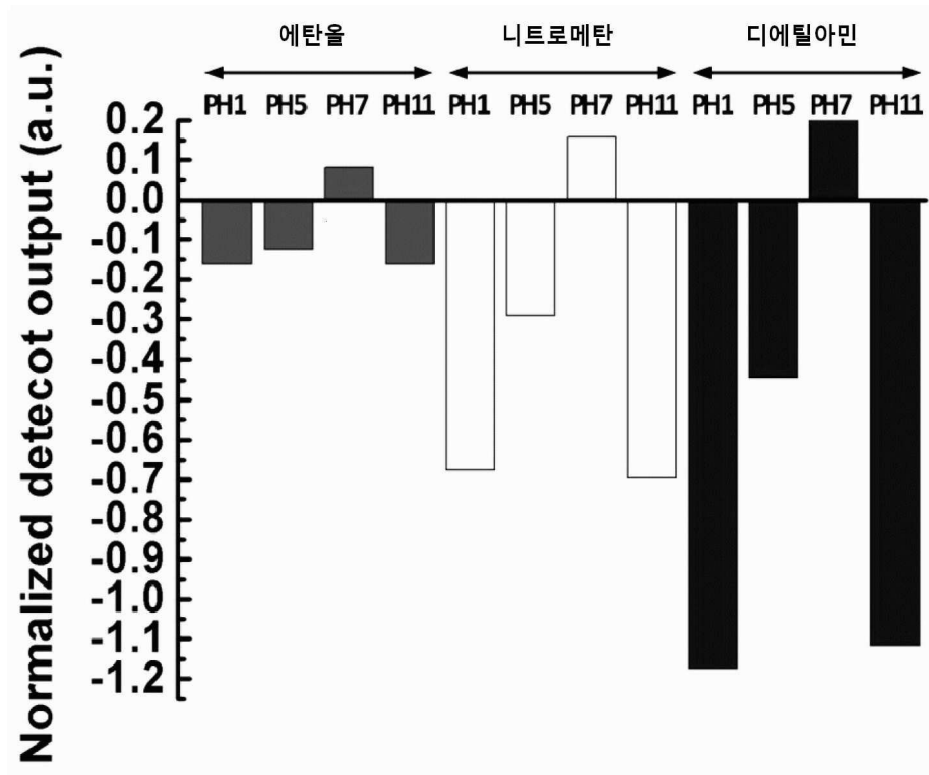
도면7



도면8



도면9



도면10

