(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0020219
(43) 공개일자 2013년02월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G01N 27/407* (2006.01) *G01N 27/30* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0082708
(22) 출원일자 2011년08월19일
심사청구일자 2011년08월19일

(71) 출원인
**이화여자대학교 산학협력단**
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
**이영미**
서울특별시 강남구 영동대로 210, 쌍용아파트 3동 505호 (대치동)
**김명화**
경기도 의왕시 내손로 13, 107동 2003호 (내손동, 포일자이)
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**특허법인엠에이피에스**

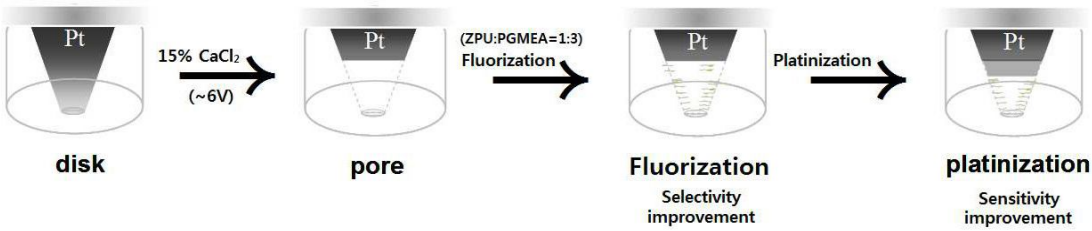
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **기체 센서 및 이의 제조 방법**

## (57) 요 약

2원자 기체를 극성 차이에 따라 선택적으로 감지할 수 있는 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서, 및 상기 기체 센서의 제조 방법에 관한 것이다.

## 대 표 도



(72) 발명자

**오민철**

부산광역시 해운대구 대천로103번길 61, 116동 402호 (좌동, 엘지해운대아파트)

**도현경**

경기도 고양시 일산동구 일산로 205, 206동 403호 (마두동, 백마마을)

**장경**

서울특별시 서대문구 증가로4길 8-41, 금강빌라 102호 (남가좌동)

**장지향**

부산광역시 금정구 부산대학로64번길 54-4, 204호 (장전동, 금호원룸)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1345139249 |
| 부처명 | 교육과학기술부 |
| 연구사업명 | 신기술융합형 성장동력사업 |
| 연구과제명 | 단백질 기반 저산소증 치료기술개발을 위한 다중나노센서 연구 |
| 주관기관 | 이화여자대학교 산학협력단 |
| 연구기간 | 2010.09.01 ~ 2011.06.30 |

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

나노포어 전극; 및,

상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물

을 포함하는, 기체 센서.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 나노포어 전극은 백금을 포함하는 것인, 기체 센서.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 불소화합물은, 불소화 광경화성 모노머를 광경화에 의하여 중합반응시킴으로써 상기 나노포어 전극 상에 코팅되는 것인, 기체 센서.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,

상기 불소화 광경화성 모노머는 불소화 광경화성 작용기로서 아크릴레이트기를 포함하는 것인, 기체 센서.

**청구항 5**

제 3 항에 있어서,

상기 불소화 광경화성 모노머는, 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트(Perfluoro-1,6-hexanediol diacrylate), 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(Perfluoro tetraethylene glycol diacrylate), 옥타플루오로비페닐 디아크릴레이트(Octafluorobiphenyl diacrylate), 테트라플루오로페닐 모노아크릴레이트(Tetrafluorophenyl monoacrylate), 퍼플루오로 트리에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(perfluoro triethylene glycol diacrylate), 퍼플루오로-1,8-옥탄디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,8-octanediol diacrylate), 퍼플루오로-1,10-데칸디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,10-decanediol diacrylate), 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 기체 센서.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물은 두께가 100 ㎚ 내지 1㎛ 의 박막 형태로 코팅된 것인, 기체 센서.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 기체 센서는, 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물 상에 추가적으로 코팅된 백금을 포함하는 것인, 기체 센서.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 기체 센서는 2원자 기체를 극성 차이에 따라 선택적으로 감지하는 것인, 기체 센서.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 기체 센서는 산소($O_2$) 기체를 선택적으로 감지하는 것인, 기체 센서.

**청구항 10**

나노포어 전극을 형성하는 단계; 및,

상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계

를 포함하는, 기체 센서의 제조 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계는,

상기 나노포어 전극을 불소화 광경화성 모노머를 포함하는 용액에 침지하고; 및,

상기 불소화 광경화성 모노머를 광경화시켜 중합하는 것

을 포함하는 것인, 기체 센서의 제조 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 불소화 광경화성 모노머는 불소화 광경화성 작용기로서 아크릴레이트기를 포함하는 것인, 기체 센서의 제조 방법.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 불소화 광경화성 모노머는, 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트(Perfluoro-1,6-hexanediol diacrylate), 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(Perfluoro tetraethylene glycol diacrylate), 옥타플루오로비페닐 디아크릴레이트(Octafluorobiphenyl diacrylate), 테트라플루오로페닐 모노아크릴레이트(Tetrafluorophenyl monoacrylate), 퍼플루오로 트리에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(perfluoro triethylene glycol diacrylate), 퍼플루오로-1,8-옥탄디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,8-octanediol diacrylate), 퍼플루오로-1,10-데칸디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,10-decanediol diacrylate), 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 기체 센서의 제조 방법.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,

상기 불소화 광경화성 모노머를 포함하는 용액은 광개시제를 추가 포함하는 것인, 기체 센서의 제조 방법.

**청구항 15**

제 10 항에 있어서,

상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계 이후에 추가적으로 백금을 코팅하는 단계를 추가 포함하는 것인, 기체 센서의 제조 방법.

# *명 세 서*

## *기 술 분 야*

[0001] 본원은, 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서, 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

## *배 경 기 술*

[0002] 최근 전기화학적 센서를 이용하여 생물학적 조건에서 산소($O_2$)와 일산화질소(NO) 기체 분자를 감지하는 실험에 대한 수요가 증가하고 있다. 이는 산소, 및 일산화질소 기체 분자가 생체 내에서 신호 전달 물질로서 중요한 역할을 수행하기 때문이다. 산소는 대부분의 생명체가 삶을 유지하는데 필수적인 기체 분자이며 일산화질소는 혈관 확장, 신경 전달 등 생물학적/생리학적 과정에 중요한 역할을 수행한다. 또한 산소와 일산화질소는 생체 내에서 서로 긴밀한 상호작용을 하기도 한다. 예를 들어, 일시적인 저산소증 상태가 유발되었을 경우, 일산화질소가 신호전달 물질로 작용하여 혈관 확장을 유도하고 이에 따라 과량의 산소가 공급됨으로써 저산소증이 회복될 수 있다.

[0003] 일산화질소와 산소를 효과적으로 감지하기 위하여 다양한 방법들이 이용되고 있다. 특히 일산화질소 기체는 라디칼 상태이므로 수명이 짧고, 또한 생체 내에 나노 몰농도 수준으로 극소량만 존재하기 때문에 그 측정이 어렵다. 일반적으로 일산화질소 측정을 위해 사용되는 화학발광법(Chemiluminescence), 또는 화학 상자성 공명분광법(Electron Paramagnetic Resonance)은 일산화질소와 다른 물질과의 반응 결과 생성된 물질을 분석하는 방법으로서, 상대적으로 분석방법이 복잡하고 비용이 높다는 단점을 지니고 있어, 생물학적 시스템에서의 실시간 분석에는 그 응용성이 떨어진다. 반면 전기화학적 센서는 기체에 즉각적으로 반응하기 때문에 기체가 확산되어 사라지기 전에 측정하는 것이 가능하며 실시간의 연구에 적합하다. 다만 전기화학적 센서도 종류가 다양하며, 센서의 전극에 어떤 화합물이 포함되어 있는지에 따라 센서의 성능에 영향을 미치는 바, 보다 고성능의 전기화학적 센서를 개발하기 위한 연구 개발이 진행 중이다.

[0004] 한편, 지름이 마이크로미터나 나노미터 크기인 초미세전극에 기반한 센서는 전압강하 현상(iR drop)과 이중층 대전효과(double layer charging effects)를 줄일 수 있으며, 전극표면으로의 물질의 전달 속도가 빠르다는 장점을 지닌다. 따라서 기체 생성 근원지(source) 매우 가까이에서 기체의 농도를 그 국부적 위치에 따라 실시간으로 측정하기 위하여, 센서에 초미세전극을 도입하려는 노력이 있었다.

[0005] 예를 들어, 대한민국 특허출원 제10-2008-7027651은호는 초미세전극의 일종인 나노포어 전극에 관하여 "나노세공 입자 분석기, 제조 방법 및 용도"를 개시하고 있다. 그러나, 센서의 전극에 포함되는 화합물 종류의 조절과 나노포어 전극이라는 구조적 요소의 조절을 동시에 수행함으로써 센서의 선택적인 기체 감지능을 극대화하고자 한 연구는 미비하였다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명자들은, 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서를 제조하여 기체 감지에 이용하는 경우, 2원자 기체를 극성 차이에 따라 선택적으로 감지할 수 있음을 발견하여 본원을 완성하였다.

[0007] 이에, 본원은, 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서, 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0008] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 본원의 제 1 측면은, 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서를 제공한다.

[0010] 본원의 제 2 측면은, 나노포어 전극을 형성하는 단계, 및 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계를 포함하는, 기체 센서의 제조 방법을 제공한다.

### 발명의 효과

[0011] 본원에 따라 제조된, 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서는, 일산화질소, 산소 등 2원자 분자 기체의 전기화학적 산화·환원 반응을 측정하기 위하여 이용될 수 있다. 상기 일산화질소, 산소 등 2원자 분자 기체를 감지하는 것은 생물학적 시스템에서부터 연료 전지 전극 개발 분야에 이르기까지 폭 넓게 요구되는 작업이다.

[0012] 특히, 본원의 기체 센서는 불소화합물을 포함함으로써, 극성 기체들과 혼합된 상태의 산소를 선택적으로 측정하는 경우 감응성이 극대화되는 효과를 보였다. 구체적으로, 본원의 기체 센서를 이용할 경우, 산소 환원 전위(-0.6 V vs. Ag/AgCl)에서 산소 측정에 대한 작업 능력이 현저히 증가하였고, 일산화질소 산화 전위에서 일산화질소 측정이 되지 않음으로써, 기체의 극성에 따라 선택적으로 반응한다는 점을 확인할 수 있었다. 또한, 기체 센서의 전극 표면에 불소화합물을 코팅함으로써, 센서의 감응성이 향상되는 효과뿐만 아니라 작업전극의 오염을 방지하는 부수 효과도 거둘 수 있었다.

[0013] 한편, 본원의 기체 센서는 포어 지름 크기가 약 800 ㎚ 내지 약 1.2 ㎛ 인 나노포어 전극을 제조하여 이용함으로써, 센서의 높은 해상도 및 전극의 넓은 표면적에 따른 민감도 향상의 효과를 거둘 수 있었다. 또한, 작업전극에 추가적인 백금 코팅을 시킴으로써 표면적을 한층 더 넓게 하고 센서의 민감도를 극대화할 수 있었다.

[0014] 종래의 산소 기체 감지 센서의 경우에는 센서의 작업전극으로 쓰이는 백금의 표면에 다양한 이온들의 흡착됨으로써 전극 수명이 단축되었기 때문에, 전극에 이러한 이온들의 흡착을 막기 위한 추가적인 막 코팅이 필요하다는 번거로움이 있었다. 그러나 본원의 불소화합물이 코팅된 나노포어 센서는 추가적인 막 없이도 상기 흡착에 따른 전극 수명 단축의 문제점이 발견되지 않았으며, 상대적으로 무극성인 기체에만 선택적으로 감응하여 높은 감응도 값을 나타내었다.

### 도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은, 본원의 일 실시예에 따른 기체 센서를 제조하는 과정을 나타낸 순서도이다.

도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, 백금을 포함하는 나노포어 전극을 제조하는 과정에서 촬영한 사진 이미지이다.

도 3은, 본원의 일 실시예에 있어서, 나노포어 전극에 포어가 형성된 것을 확인하기 위한 CV 그래프이다.

도 4는, 본원의 일 실시예에 있어서, 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계에서 불소화 광경화성 모노머의 일종인 ZPU가 자외선 광경화에 의하여 중합되는 메커니즘이다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 산소 기체에 대한 감응성을 보여주는 동적 반응 곡선(dynamic response curve)이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 일산화질소 기체에 대한 감응성을 보여주는 동적 반응 곡선(dynamic response curve)이다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 산소 기체에 대한 감응성을 보여주는 상대적 검정 곡선(corresponding calibration curve)이다.

도 8은, 본원의 일 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 일산화질소 기체에 대한 감응성을 보여주는 상대적 검정 곡선(corresponding calibration curve)이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0016] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다.

[0017] 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0018] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로서 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 또한, 본원 명세서 전체에서, "~하는 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.

[0022] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다.

[0023] 본원의 제 1 측면은, 나노포어 전극 및 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물을 포함하는 기체 센서를 제공한다.

[0024] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 나노포어 전극은 백금을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 센서의 감응도를 향상시키기 위해서는 작업전극의 표면적을 증가시킬 필요가 있으며, 이를 위해 백금-함유 용액을 이용하여 전기화학적 증착방식을 통해 센서의 전극의 백금화(platinization)할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 상기 백금화(platinization)를 수행하기 이전의 상기 나노포어 전극 자체도 백금 와이어를 원료로 하여 제조됨으로써 백금을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0025] 예를 들어, 상기 나노포어 전극의 포어(pore)는 지름이 약 800 nm 내지 약 1.2 μm 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 나노포어 전극을 제조하여 기체 센서에 이용함으로써, 센서의 높은 해상도 및 전극의 넓은 표면적에 따른 민감도 향상의 효과를 거둘 수 있다.

[0026] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 불소화합물은, 불소화 광경화성 모노머를 광경화에 의하여 중합반응시킴으로써 상기 나노포어 전극 상에 코팅되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 광경화를 위한 광원은 특별히 광원이 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광경화를 위한 광원으로서는, 중압수은램프, 고압수

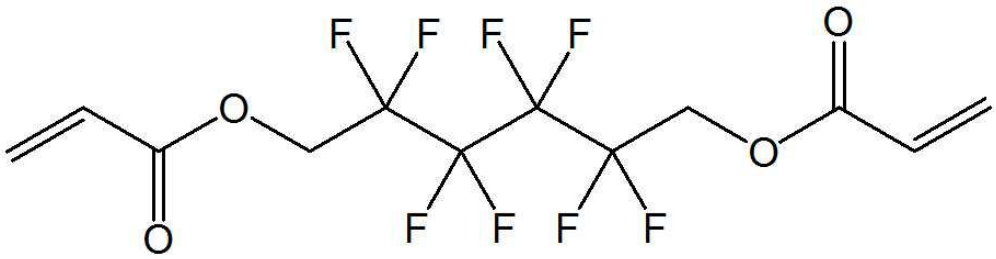
은램프, $N_2$ 레이저, 또는 $Ar^+$ 레이저를 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 예를 들어, 자외선(UV) 광경화기를 사용하여 자외선(UV)을 통한 광경화 중합반응을 수행할 수 있으나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0027] 이와 관련하여, 본원의 일 실시예에 따른 도 4는 기체 센서 제조 과정 중 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계(fluorization)에서 불소화 광경화성 모노머의 일종인 ZPU(perfluoroether diacrylate, 퍼플루오로에테르 디아크릴레이트)가 자외선을 이용한 광경화에 의하여 중합되는 메커니즘을 나타낸 것이다. 상기 ZPU가 포함하는 퍼플루오로에테르 부분은 테플론($(CF_2CF_2)_n$)과 유사한 구조이나, 산소 기체의 투과에 있어서 보다 효율적인 분자구조로 이루어져 있다. 예를 들어, 본원의 일 실시예에 있어서, 365 nm의 중압수은램프에서 방출되는 자외선에 의하여 상기 ZPU에 포함된 아크릴기의 이중결합이 끊어지면서 연속적인 중합반응이 유도되어 3차원 골격의 투명하고 얇은 박막이 형성될 수 있으나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

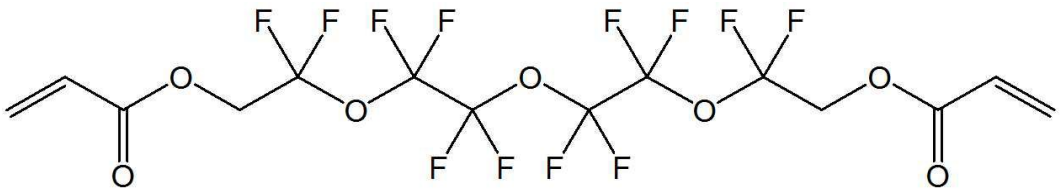
[0028] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 불소화 광경화성 모노머는, 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트(Perfluoro-1,6-hexanediol diacrylate), 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(Perfluoro tetraethylene glycol diacrylate), 옥타플루오로비페닐 디아크릴레이트(Octafluorobiphenyl diacrylate), 테트라플루오로페닐 모노아크릴레이트(Tetrafluorophenyl monoacrylate), 퍼플루오로 트리에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(perfluoro triethylene glycol diacrylate), 퍼플루오로-1,8-옥탄디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,8-octanediol diacrylate), 퍼플루오로-1,10-데칸디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,10-decanediol diacrylate), 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 불소화 광경화성 모노머를 광경화에 의하여 중합반응시킴으로써 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하고자 할 때, 상기 불소화 광경화성 모노머인 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트, 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리콜 디아크릴레이트, 옥타플루오로비페닐 디아트릴레이트, 테트라플루오로페닐 모토아크릴레이트, 및 광개시제를 각각 약 50: 30: 10: 5: 5의 비율로 포함시킨 혼합물을 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0029] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 불소화 광경화성 모노머는 불소화 광경화성 작용기로서 아크릴레이트기를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 불소화 광경화성 모노머는 하기 화학식 1 내지 화학식 4의 화합물 중 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다:

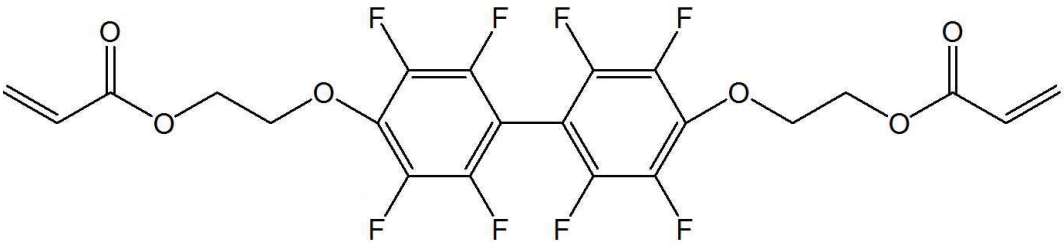
[0030] [화학식 1]

[0031] 

[0032] [화학식 2]

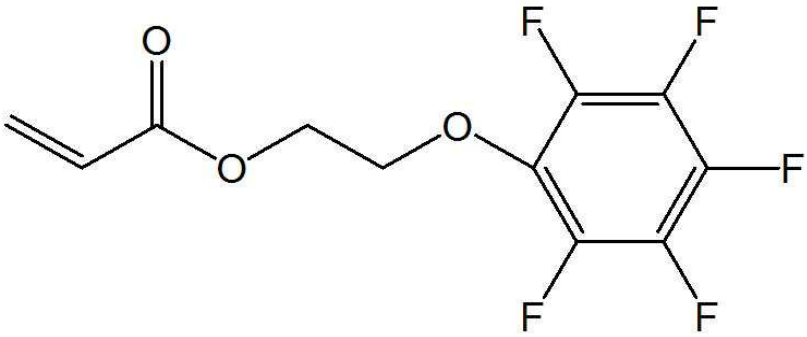
[0033] 

[0034] [화학식 3]



[0035]

[0036] [화학식 4]



[0037]

[0038] 상기 화학식 1은 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트(Perfluoro-1,6-hexanediol diacrylate)이고, 화학식 2는 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리톨 디아크릴레이트(Perfluoro tetraethylene glycol diacrylate)이고, 화학식 3은 옥타플루오로비페닐 디아트릴레이트(octafluorobiphenyl diacrylate)이고, 화학식 4는 테트라플루오로페닐 모노아크릴레이트(tetrafluorophenyl monoacrylate)이다.

[0039] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물은 두께가 약 100 nm 내지 약 1㎛의 박막 형태로 코팅된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 기체 센서의 나노포어 전극은 두께가 약 1 ㎛ 이하인 박막 형태의 불소화합물을 포함함으로써 2원자 분자 기체를 극성에 따라 선택적으로 투과시킬 수 있다. 또한, 기체 센서는 전극 표면에 불소화합물을 코팅함으로써, 센서의 감응성이 향상되는 효과뿐만 아니라 작업전극의 오염을 방지하는 부수 효과도 거둘 수 있다. 본원의 불소화합물이 코팅된 나노포어 센서는 추가적인 막을 형성하지 않아도 불필요한 이온 흡착에 따른 전극 수명 단축의 문제점을 발생시키지 않는다.

[0040] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 기체 센서는, 상기 나노포어 전극 상에 코팅된 불소화합물 상에 추가적으로 코팅된 백금을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 이와 같이 추가적인 백금 코팅(platinization)을 포함시킬 경우, 전극의 표면적을 한층 더 넓게 하고 센서의 민감도를 극대화할 수 있다는 유리한 효과를 거둘 수 있다.

[0041] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 기체 센서는 2원자 기체를 극성 차이에 따라 선택적으로 감지하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 2원자 기체인 일산화질소(NO) 기체와 2원자 기체인 산소($O_2$) 기체가 혼합되어 있을 경우, 상기 기체 센서는 불소화합물 층 때문에 산소와 같이 상대적으로 무극성인 기체에 보다 높은 감응성을 가지는 바, 극성 차이에 따른 감응성 차이에 따라 기체를 분리 감지할 수 있다. 물질의 극성은 일반적으로 상대적인 개념이며, 예를 들어, 상기 일산화질소 기체와 산소 기체의 극성을 비교하여 보면 산소 쪽이 훨씬 더 무극성이다. 일산화질소 기체의 경우에는 전기음성도가 3.0인 질소 원자와 전기음성도가 3.5인 산소 원자로서 이루어져 있기 때문에 약간 분극성을 띠게 되지만, 산소 기체의 경우에는 동종의 2원자 기체 분자로서 분자 내 분극화 현상이 일어나지 않기 때문이다. 본원에 따른 기체 센서는, 이러한 2원자 기체 분자들의 상대적인 극성 차이를 이용하여 기체를 분리 감지한다. 구체적으로, 본원에 따른 기체 센서를 이용할 경우, 산소 환원 전위(-0.6 V vs. Ag/AgCl)에서 산소 측정에 대한 작업 능력이 현저히 증가하고, 일산화질소 산화 전위에서 일산화질소 측정이 되지 않음으로써, 기체의 극성에 따라 선택적으로 반응한다는 점을 확인할 수 있다.

[0042] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 기체 센서는 산소($O_2$) 기체를 선택적으로 감지하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0043] 본원의 제 2 측면은, 나노포어 전극을 형성하는 단계, 및 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계를 포함하는, 기체 센서의 제조 방법을 제공한다.

[0044] 이와 관련하여, 도 1은, 본원의 일 실시예에 있어서 본원에 따른 기체 센서를 제조하는 과정을 나타낸 순서도이다. 도 1 은 상기 기체 센서의 제조 방법을 4 단계로 구체화하고 있는데, 디스크 전극을 형성하는 단계, 상기 디스크 전극을 추가적으로 에칭함으로써 나노포어 전극을 형성하는 단계, 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅함으로써 극성에 따른 기체 감응성을 조절하는 단계, 및 상기 불소화합물이 이루는 층 상에 추가적인 백금 코팅을 함으로써 센서의 표면적을 넓히고 감응성을 향상시키는 단계가 상기 4 단계이다.

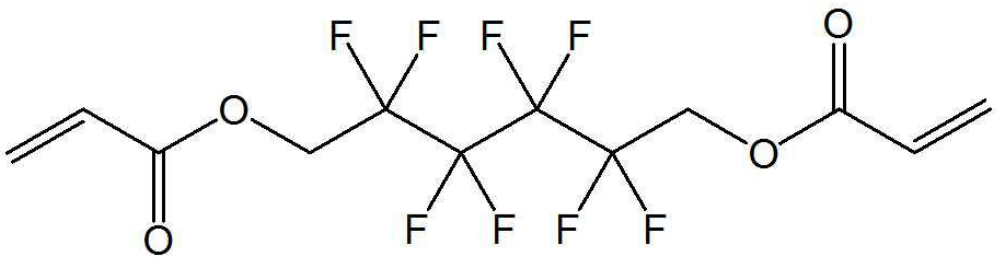
[0045] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계는, 상기 나노포어 전극을 불소화 광경화성 모노머를 포함하는 용액에 침지하고, 상기 불소화 광경화성 모노머를 광경화시켜 중합하는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 광경화를 위한 광원은 특별히 광원이 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광경화를 위한 광원으로서는, 중압수은램프, 고압수은램프, $N_2$ 레이저, 또는 $Ar^+$ 레이저를 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 예를 들어, 자외선(UV) 광경화기를 사용하여 자외선(UV)을 통한 광경화 중합반응을 수행할 수 있으나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0046] 이와 관련하여, 본원의 일 실시예에 따른 도 4는 기체 센서 제조 과정 중 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계에서 불소화 광경화성 모노머의 일종인 ZPU(perfluoroether diacrylate, 퍼플루오로에테르 디아크릴레이트)가 자외선을 이용한 광경화에 의하여 중합되는 메커니즘을 나타낸 것이다. 상기 ZPU가 포함하는 퍼플루오로에테르 부분은 테플론($(CF_2CF_2)_n$)과 유사한 구조이나, 산소 기체의 투과에 있어서 보다 효율적인 분자구조로 이루어져 있다. 예를 들어, 본원의 일 실시예에 있어서, 365 nm의 중압수은램프에서 방출되는 자외선에 의하여 상기 ZPU에 포함된 아크릴기의 이중결합이 끊어지면서 연속적인 중합반응이 유도되어 3차원 골격의 투명하고 얇은 박막이 형성될 수 있으나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

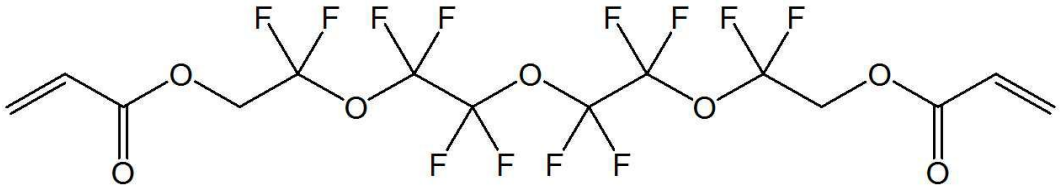
[0047] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 불소화 광경화성 모노머는, 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트(Perfluoro-1,6-hexanediol diacrylate), 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(Perfluoro tetraethylene glycol diacrylate), 옥타플루오로비페닐 디아크릴레이트(Octafluorobiphenyl diacrylate), 테트라플루오로페닐 모노아크릴레이트(Tetrafluorophenyl monoacrylate), 퍼플루오로 트리에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(perfluoro triethylene glycol diacrylate), 퍼플루오로-1,8-옥탄디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,8-octanediol diacrylate), 퍼플루오로-1,10-데칸디올 디아크릴레이트(perfluoro-1,10-decanediol diacrylate), 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 불소화 광경화성 모노머를 광경화에 의하여 중합반응시킴으로써 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하고자 할 때, 상기 불소화 광경화성 모노머인 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트, 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리콜 디아크릴레이트, 옥타플루오로비페닐 디아트릴레이트, 테트라플루오로페닐 모토아크릴레이트, 및 광개시제를 각각 약 50: 30: 10: 5: 5의 비율로 포함시킨 혼합물을 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0048] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 불소화 광경화성 모노머는 불소화 광경화성 작용기로서 아크릴레이트기를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 불소화 광경화성 모노머는 하기 화학식 1 내지 화학식 4의 화합물 중 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다:

[0049] [화학식 1]

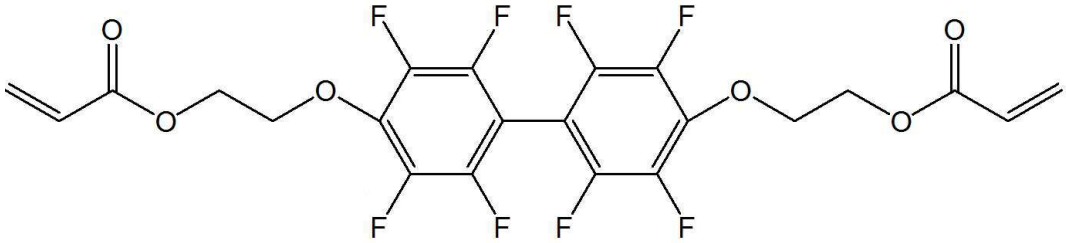
[0050] 

[0051] [화학식 2]



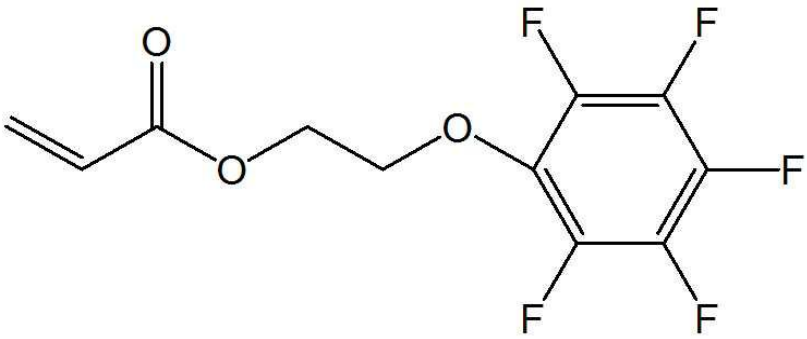
[0052]

[0053] [화학식 3]



[0054]

[0055] [화학식 4]



[0056]

[0057] 상기 화학식 1은 퍼플루오로-1,6-헥산디올 디아크릴레이트(Perfluoro-1,6-hexanediol diacrylate)이고, 화학식 2는 퍼플루오로 테트라에틸렌 글리톨 디아크릴레이트(Perfluoro tetraethylene glycol diacrylate)이고, 화학식 3은 옥타플루오로비페닐 디아트릴레이트(octafluorobiphenyl diacrylate)이고, 화학식 4는 테트라플루오로페닐 모노아크릴레이트(tetrafluorophenyl monoacrylate)이다.

[0058] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 불소화 광경화성 모노머를 포함하는 용액은 광개시제를 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 광개시제는, 상기 불소화 광경화성 모노머가 광경화를 통해 폴리머 형태로 중합되는 과정을 촉진하기 위한 물질일 수 있다. 예를 들어, 상기 광개시제로는 1-하이드록시 사이클로헥실페닐케톤(1-hydroxy cyclohexylphenylketone), 알파, 알파-디메틸-알파-하이드록시 아세토페논(α,α-dimethyl-α-hydroxy acetophenone), 1-[4-(2-하이드록시에톡시)페닐]-2-하이드록시-2-메틸-프로판-1-온(1-[4-(2-hydroxyethoxy)phenyl]-2-hydroxy-2-methyl-propane-1-one), 알파, 알파-데톡시아세토페논(α,α-dethoxyacetophenone, DEAP), 벤질디메틸 케탈(benzildimethyl ketal, BDK), 벤조페논(benzophenone), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0059] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 기체 센서의 제조 방법은 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하는 단계 이후에 추가적으로 백금을 코팅하는 단계를 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 이와 같이 추가적인 백금 코팅을 포함시킬 경우, 전극의 표면적을 한층 더 넓게 하고 센서의 민감도를 극대화할 수 있다는 유리한 효과를 거둘 수 있다.

[0060] 본원에 따라 제조된 기체 센서는 일산화질소, 산소 등 2원자 분자 기체들의 극성 차이에 따라 무극성의 기체를 선택적으로 분리 감지하기 위한 것으로서, in-vivo 및 in-vitro의 생물학적 시료 측정 실험에 유용하며, 국소적인 기체 농도를 신속하게 측정하는 데에도 유용하게 사용될 수 있다. 일반적인 산소 기체 감지 센서의 경우에는, 산소 환원 전위에서 동시에 환원되는 이온 등 다양한 이온들이 전극 표면에 흡착되어 전극 수명이 단축된다

는 문제점이 있기 때문에 이를 방지하기 위한 추가적인 막을 형성해야 한다는 번거로움이 있었으나, 본원에 따른 불소화합물이 코팅된 나노포어 센서는 추가적인 막 없이도 산소 등의 무극성 기체에만 선택적으로 감응하여 높은 감응도 값을 나타낸다.

[0061] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0062] **[실시예]**

[0063] **1. 실험에 사용한 시약**

[0064] 센서의 감응도 향상을 위해서는 작업전극의 표면적의 증가가 필요하며, 이를 위해 전기화학적 증착방식으로 센서의 전극을 백금화(platinization)하였는데, 이 때 사용된 백금-함유 용액(platinizinf solution)은 YSI Incorporated(Yellow springs, Ohio 45387 USA)사 제품이었다.

[0065] 또한, 센서의 기준 전극인 Ag/AgCl을 제조하기 위해서는 Ag 전선을 용액에 담가 산화시킴으로써 AgCl가 되도록 하여야 하는데, 이때 상기 용액을 제조하기 위하여 사용된 3가 철 염화 헥사하이드레이트(iron(III) chloride hexahydrate)는 Samchun chemicals사 제품이었다.

[0066] 또한, 불소화합물이 코팅된 나노포어 전극을 포함하는 센서의 동적 반응 곡선(dynamic response curve)을 얻기 위하여 표준 용액으로서 사용한 0.1 M 황산 용액의 제조에 사용한 황산(sulfuric acid)은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO)사 제품이었다.

[0067] 또한, 백금 전선을 전기화학적 방법으로 에칭하여 깔대기 모양의 날렵한 전극으로 만들며, 디스크에서 포어 형태의 전극으로 만들 때 필요한 에칭을 수행할 때 사용되는 에칭 용액 제조에는 염화 칼슘($CaCl_2$), 및 아세톤이 사용되었으며 역시 모두 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO)사 제품을 사용하였다.

[0068] 또한, 제조된 센서의 CV 측정을 위하여 필요한 용액을 제조하는데 사용되는 페로신메탄올(ferrocenemethanol, Fc), 테트라부틸암모늄 테트라플루오로보레이트(Tetrabutylammonium tetrafluoroborate, $TBABF_4$), 아세토니트릴(acetonitrile, $CH_3CN$) 역시 모두 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO)사 제품이었다.

[0069] 마지막으로 본원에 따른 센서의 전극을 제조하는 과정에서 불소화합물 코팅을 위하여 사용된 (ZPU 13-455:PGMEA = 1:5) 용액의 제조에 쓰인 PGMEA (Propylene glycol monomethyl ether acetate)는 Sigma-Aldrich(ST. Louis, MO)사 제품이었다.

[0070] **2. 나노포어 전극의 제조**

[0071] 본 실시예의 기체 센서에 있어서, 전극은 백금이 코팅된 Pt 작업전극(WE), 및 코일 구조의 Ag/AgCl 와이어를 이용하여 제조된 기준/보조전극(RE/CE)으로 구성되어 있다.

[0072] 먼저, 작업전극(WE)의 제작과정은 다음과 같았다. 1 cm 길이, 25 μm 지름의 백금 와이어(Goodfellow, 99.99 %)에 5 cm 길이의 구리 와이어(Alpha)를 Ag 에폭시(Alfa-Aesar)를 이용하여 연결시켰다. 백금/구리 와이어를 80 ℃ 오븐에서 약 15분 동안 가열시켜 Ag 에폭시가 경화되도록 하였다. 이로써 완성된 상기 백금/구리 와이어를 적당한 길이로 뽑은 소다 라임 유리 모세관(soda lime glass capillary; Dagan Corporation, LB16 OD=1.65 mm, ID=1.10 mm soften at 700 ℃) 안으로 집어 넣어, 백금 와이어의 끝 부분이 약 5 mm 노출된 형태가 되도록 하였다. 마이크로매니퓰러(Micromanipulaor)를 이용하여 상기 유리 모세관 밖으로 노출된 백금 와이어 끝부분이 1.2 M 농도의 $CaCl_2$(용매는 아세톤: 물 = 1: 2를 사용함) 용액에 30 μm 침지되도록 한 후, 가변 전압기를 이용하여 백금/구리 와이어와 대면적의 백금 상대전극 사이에 5 V의 AC 전압을 걸어 전기화학적으로 에칭(etching)하였다. 이로써 원뿔형의 날카로운 백금 말단부(conical sharp Pt tip)가 완성되었으며, 이를 광학현미경으로 확인한 것이 도 2의 "에칭된 백금 말단부(etched Pt tip)"이다.

[0073] 백금 말단부/구리 와이어를 유리 모세관 안으로 완벽히 밀어 넣어, 모세관의 포어에서 백금 말단부까지의 거리가 추후 전극에 형성되는 나노포어의 지름이 되도록 조절하였다. 토치(Torch)로 모세관을 녹여 포어와 날카로

운 백금 말단부가 실링(sealing)되도록 하되, 실링된 금속 근처에 공기 방울이 생기지 않도록 주의하였다. 구리 와이어 전선 피복이 노출된 유리 모세관 반대쪽 입구 부분을 약 5 분 동안 에폭시(Permatex)를 처리하여 전선 피복과 부착시키고 약 10 분 동안 건조시켰다. 백금 와이어가 실링(sealing)된 소다 라임 유리 모세관의 실링된 두꺼운 유리 부분(thickness glass part)을, 미세한 그리트 샌드페이퍼(finer grit sandpaper)를 이용하여 다듬어, 백금 말단부가 노출된 나노 크기의 디스크 전극이 형성되도록 하였다. 이때, 상기 디스크 전극의 바람직한 지름 범위는 500±100 nm 였으며, 상기 디스크 전극을 광학 현미경으로 확인하여 도 2의 "디스크(disk)" 사진으로 나타내었다.

[0074] 한편, Ag/AgCl 기준전극(RE)을 만들기 위하여 은 와이어(지름 125 μm, AM systems)를 약 10 cm 길이만큼 잘라 피복을 벗겨내었다. 이 중 약 6 cm 정도를 유리 전극 주변에 코일 모양으로 감싸고 전극에서 분리하여 코일 부분만 0.1 M 농도의 $FeCl_3$ 용액에 침지하였다. 약 1 분 후, 은이 산화되어 색이 검게 변한 것을 확인한 후 증류수로 깨끗이 헹궈주었다. 완성된 코일 구조의 Ag/AgCl 기준전극은, 초미세 센서의 특성상 기준전극임과 동시에 상대 전극의 역할도 수행한다.

[0075] 이와 같이 Ag/AgCl 전극이 완성된 후, 앞서 준비한 백금 작업전극에 상기 Ag/AgCl 전극을 코일 형태로 다시 감아서 나노 디스크 전극을 완성하였다. 제조된 나노 디스크 전극의 반지름은, 5 mM 농도의 페로신(ferrocene; $CH_3CN$ 용매에 Ferrocenemethanol과 0.1 M 농도의 $TBABF_4$를 포함시킨 것)에서 CV의 극한 전류 값을 측정한 후, 이를 하기 식(1)에 대입하여 구하였다. 이 때, CV 범위는 -0.3 V 내지 0.7 V였다:

[0076] $$i_{ss} = 4nFD_oC_or \qquad (1)$$

[0077] 상기 식 (1)에서, $i_{ss}$는 CV를 통해 얻은 극한 전류값(A)이고, n은 페로신(ferrocene)의 산화 환원 반응의 전자수(n=1)이고, F는 패러데이상수(96485.34 C/mol)이고, $D_o$는 페로신(ferrocene)의 확산 계수($2.4\times10^{-5}$ $cm^2/s$)이고, $C_o$는 페로신(ferrocene) 용액의 농도(5 mM)이고, r은 구하고자 하는 디스크 전극의 반지름이다.

[0078] 나노포어 전극을 제조하기 위하여, 상기와 같이 제조한 나노 크기의 디스크 전극을 1.2 M 농도의 $CaCl_2$(용매는 아세톤: 물 = 1: 2를 사용함) 용액에서 추가적으로 에칭하였다. 먼저 실험 셀(experimental cell) 내의 $CaCl_2$ 용액 높이와 초음파 배쓰(ultrasonic bath; 새한 Cleaner) 내의 증류수 높이를 맞추고 초음파기기(sonicator)의 전원을 켰다. 백금 디스크 전극의 말단부가 백금 상대 전극보다 약간 위에 위치하도록 장치를 설치한 뒤, 높이를 점점 낮추어 먼저 백금 상대 전극, 뒤이어 백금 디스크 작업전극의 순서로 진동하고 있는 $CaCl_2$ 용액에 살짝 침지되도록 하였다. 두 전극 사이에 5 V의 전압을 걸어 약 2 초 동안 에칭을 하고 초음파 기기가 켜져 있는 상태로 두 전극을 용액 밖으로 꺼내고 초음파기기와 가변 전압기의 전원을 껐다. 상기 용액 밖으로 꺼낸 전극을 1차 증류수로 깨끗이 씻은 후, 3차 증류수에 상기 전극을 담가 초음파 처리를 약 10 초 동안 실행함으로써 깨끗하게 에칭된 백금 전극 표면을 만들었다.

[0079] 본 실시예에 따라 제조된 센서 전극의 나노포어 형성 여부는 광학 현미경으로 확인하여 도 2의 "pore" 사진으로서 나타내었으며, 또한, 페로신(ferrocene) 용액에서 CV를 찍었을 때 극한 전류 값이 감소되는 것을 통하여 확인할 수 있었으며, 이는 도 3에 그래프로서 나타내었다.

[0080] **3. 나노포어 전극 상에 불소화합물 코팅**

[0081] (ZPU 13-455:PGMEA = 1:5) 용액에 제조한 나노포어 전극을 침지(dipping)하여 10 초 동안 초음파처리(sonication)를 한 후 불소화 광경화성 모노머가 포함된 용액이 나노포어 내부와 유리표면에 흡착될 수 있도록 30 분 동안 유지시켰다. 30 분 후, 용액에서 상기 나노포어 전극을 꺼내어 나노포어 내부에 질소 기체를 약 30 초 동안 불어 넣어 나노포어가 막히지 않도록 하였다. 중앙수은램프를 가진 자외선(UV) 경화기에 상기 나노포어 전극을 넣고 질소 분위기에서 약 20 분 동안 경화시킴으로써, 상기 나노포어 전극 상에 불소화합물을 코팅하였다.

[0082] **4. 센서의 감지 능력에 대한 전기화학적 분석 방법**

[0083] 전기화학적 분석기기(Electrochemical analyzer; CHI 1000A, CHI Instruments)를 이용하여 제조한 나노포어 센서를 검정(calibration)함으로써, 본 실시예에 따른 기체 센서가 산소 및 일산화질소 기체에 대하여 어느 정도의 감응성을 보이면서 작동하는지 실험하였다.

[0084] 구체적으로, 본 실시예에 따른 기체 센서의 산소 및 일산화질소 기체의 검정(calibration)은 다음과 같이 수행되었다. 3-네크(neck) 5 mL 바이알에 0.1 M 농도의 $H_2SO_4$ 용액 2.5 mL을 넣고, 하나의 네크(neck)를 통해 본 실시예에 따라 제조된 기체 센서의 전극을 집어넣어 상기 용액에 침지한 후, 나머지 두 개의 네크(neck)를 고무마개로 막았다. 그 후, 전기화학적 분석기기(Electrochemical analyzer)에 전극을 연결하고 인가 전위 -0.6 V(vs. Ag/AgCl)를 걸어준 뒤, i-t 곡선을 기록하였다. 구체적으로, 산소($O_2$) 검정을 위하여, 산소 스톡 용액(1.3 mM, 0.1 M $H_2SO_4$)을 5 μL씩 4 번, 10 μL씩 4 번 차례로 주입하면서 i-t 곡선을 기록하였고, 일산화질소(NO) 검정을 위하여 일산화질소 스톡 용액(1.91 mM, 0.1 M $H_2SO_4$)을 1.25 μL씩 3 번, 2.5 μL씩 3 번 차례로 주입하였다. 이와 같이 얻어진 i-t 곡선을 이용하여 검정 곡선(calibration curve; x 축 = $O_2$ concentration/M, y 축 = current/pA)를 얻었다.

[0085] 본 실시예에서 사용된 산소 스톡 용액은 10 mL 바이알에 PBS(pH 7.4), 또는 0.1 M 농도의 $H_2SO_4$ 용액 5 mL를 넣고 고무마개로 막은 후 10 분 동안 산소 퍼징(pursing)을 하여 제조하였다. 한편, 본 실시예에서 사용된 일산화질소 스톡 용액은 10 mL 바이알에 PBS(pH 7.4), 혹은 0.1 M 농도의 $H_2SO_4$ 용액 5 mL를 넣고 고무마개로 막은 후 10 분 동안 아르곤 퍼징(pursing)을 하여 가스를 모두 제거한 후 일산화질소 퍼징(pursing)을 추가적으로 10 분 더 해주어 제조하였다.

[0086] **5. 센서의 감지 능력에 대한 전기화학적 분석**

[0087] 상기 "4. 센서의 감지 능력에 대한 전기화학적 분석 방법"을 본 실시예에 따라 제조된 기체 센서에 적용하여, 산소 및 일산화질소 기체 각각에 대한 동적 반응 곡선(dynamic response curve), 및 상대적 검정 곡선(corresponding calibration curve)을 얻었다. 상기 '본 실시예에 따라 제조된 기체 센서'는 4 종류의 센서를 의미하는데, 도 1의 각 단계에서 제조된 기체 센서가 상기 4 종류의 센서이다. 즉, 디스크 전극을 포함하는 센서(disk), 상기 디스크 전극을 추가적으로 에칭하여 형성한 나노포어 전극을 포함하는 센서(pore), 상기 나노포어 전극에 불소화합물을 코팅한 전극을 포함하는 센서(F), 상기 불소화합물을 코팅한 전극에 백금을 추가 코팅한 전극을 포함하는 센서(Pt) 각각에 대하여 전기화학적 분석을 수행하였다.

[0088] 상기 4 종류의 센서의 감지 능력에 대하여 전기화학적 분석을 수행한 결과는 도 5 내지 도 8에 그래프로서 나타내었다. 도 5는, 본 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 산소 기체에 대한 감응성을 보여주는 동적 반응 곡선(dynamic response curve)이다. 도 6은, 본 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 일산화질소 기체에 대한 감응성을 보여주는 동적 반응 곡선(dynamic response curve)이다. 도 7은, 본 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 산소 기체에 대한 감응성을 보여주는 상대적 검정 곡선(corresponding calibration curve)이다. 도 8은, 본 실시예에 있어서, 본원의 기체 센서의 일산화질소 기체에 대한 감응성을 보여주는 상대적 검정 곡선(corresponding calibration curve)이다.

[0089] 상기 4 종류의 센서 모두에 있어서, 동적 반응 곡선(dynamic response curve)은 기체 포화 용액(0.1 M $H_2SO_4$)의 농도에 비례하여 반응하였으며, 상대적 검정 곡선(corresponding calibration curve) 역시 모든 경우에 상관계수 값이 0.998 이상이었다.

[0090] 상기 4 종류의 센서 각각의 기체에 대한 감응성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 불소화합물 코팅 유무였다. 불소화합물이 코팅된 전극을 포함하는 2 종류의 센서(F, Pt)에 있어서, 산소에 대한 감응성은 다른 2 종류의 센서(disk, pore)에 비하여 3 배 이상 증가되었다. 구체적인 수치로는, 약 15.9 pA/M에서 약 51.3 pA/M로 증가되었다. 그러나 불소화합물이 코팅된 전극을 포함하는 2 종류의 센서(F, Pt)에 있어서, 일산화질소에 대한 감응성은 다른 2 종류의 센서(disk, pore)에 비하여 현저하게 감소되었다. 구체적인 수치로는, 약 24.2 pA/M에서 약 0.13 pA/M로 감소되었다.

[0091] 상기 실험 결과를 통하여, 불소화합물을 코팅한 나노포어 전극을 이용하여 기체 센서를 제조하고 이를 산소 기

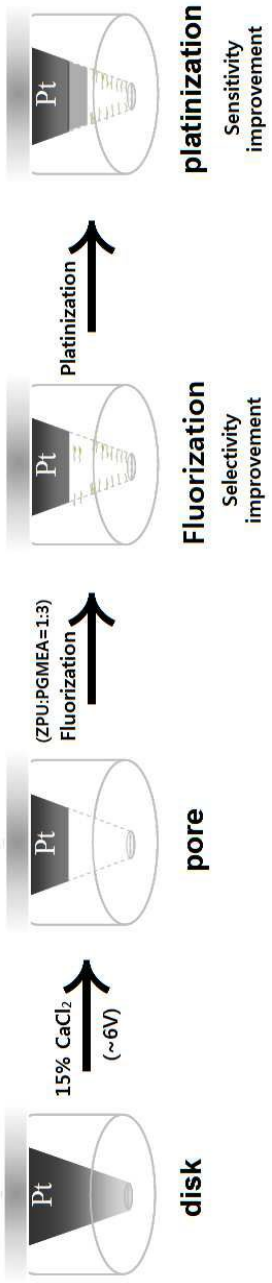
체 감지에 이용할 경우, 산소 기체에 대한 감응성이 향상되는 효과를 기대할 수 있으며, 불소화합물을 코팅한 나노포어 전극을 이용하여 제조한 기체 센서를 사용하기 직전에 동적 반응 곡선(dynamic response curve)을 통해 얻어진 민감도 값(A/M)을 이용함으로써 미지의 시료에 포함된 산소 기체의 농도 또한 구할 수 있음을 알 수 있었다.

[0092] 전술한 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 구현예 및 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

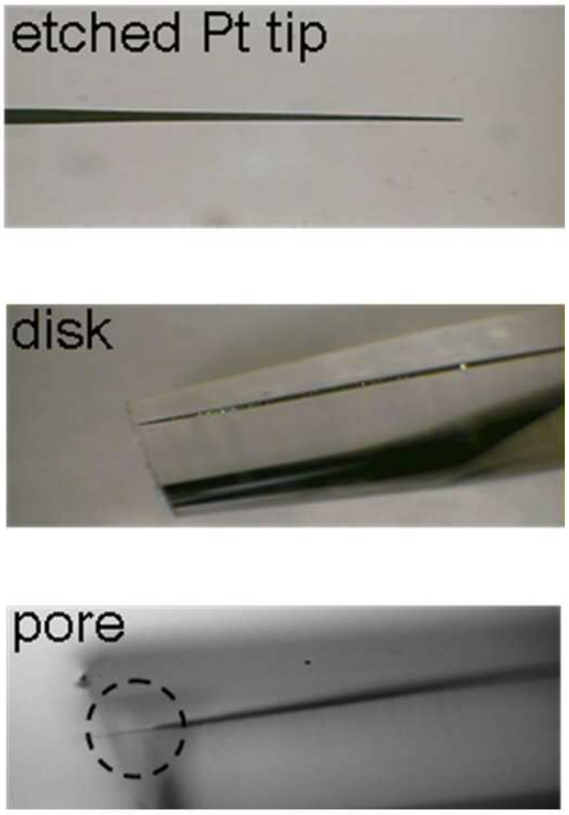
[0093] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

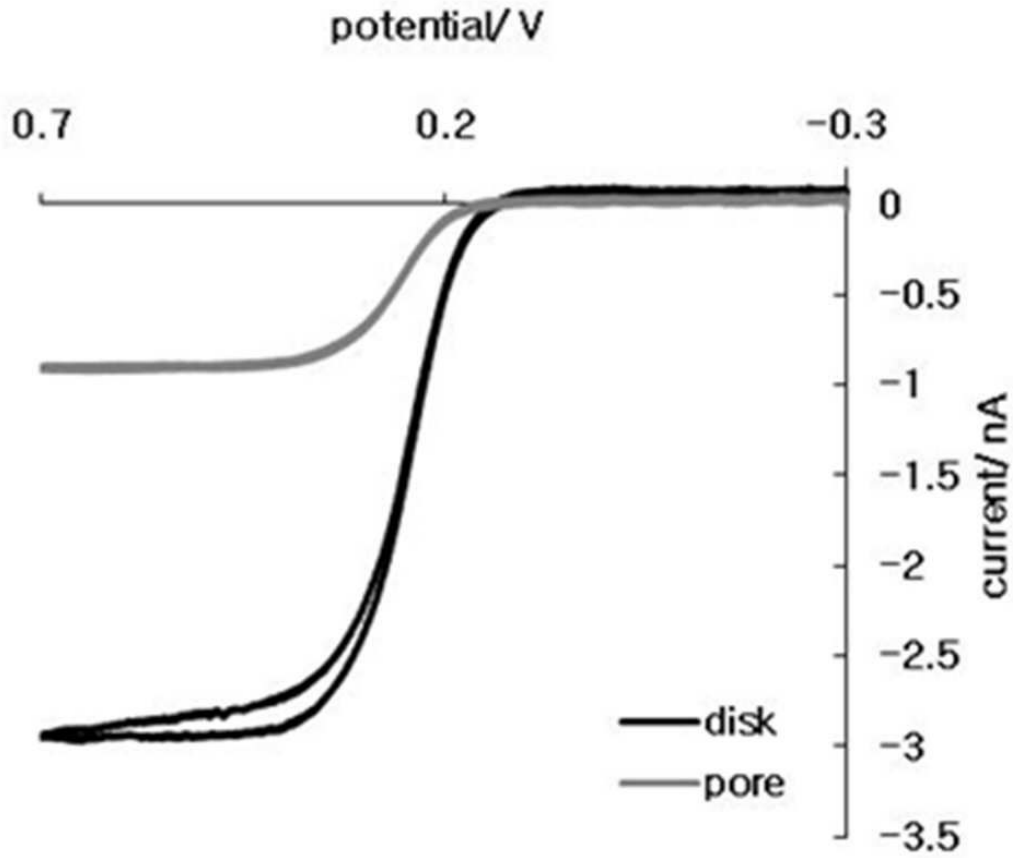
도면1


Pt
disk
15% CaCl2
(~6V)
pore
(ZPU:PGMEA=1:3)
Fluorization
Fluorization
Selectivity
improvement
Platinization
platinization
Sensitivity
improvement

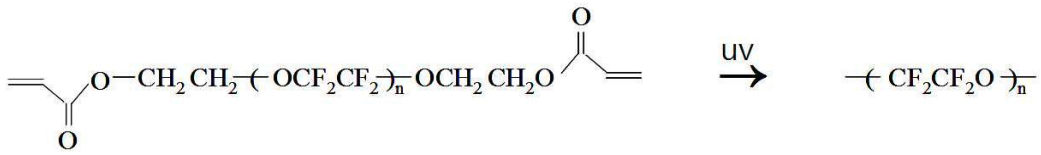
도면2


etched Pt tip
disk
pore

도면3


potential/ V
0.7
0.2
-0.3
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
-3.5
current/ nA
disk
pore

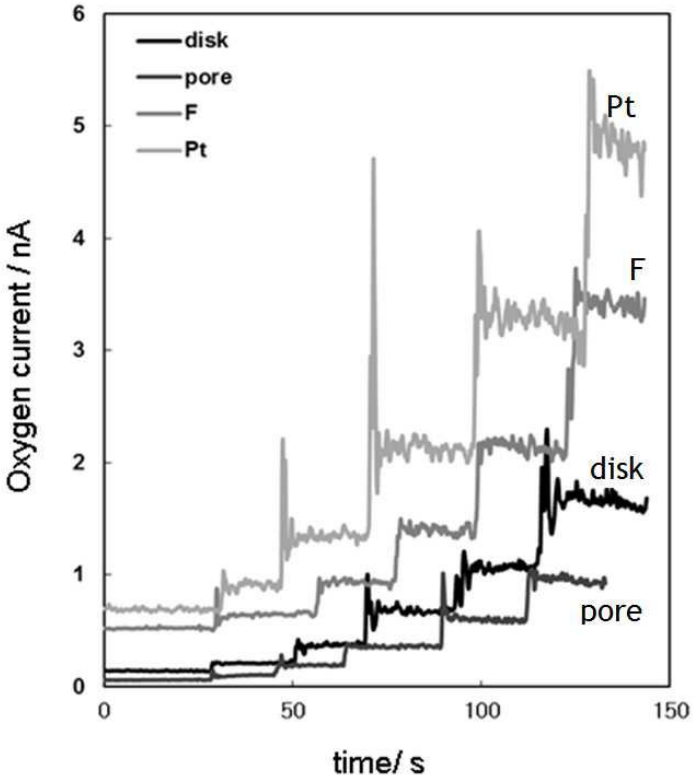
도면4



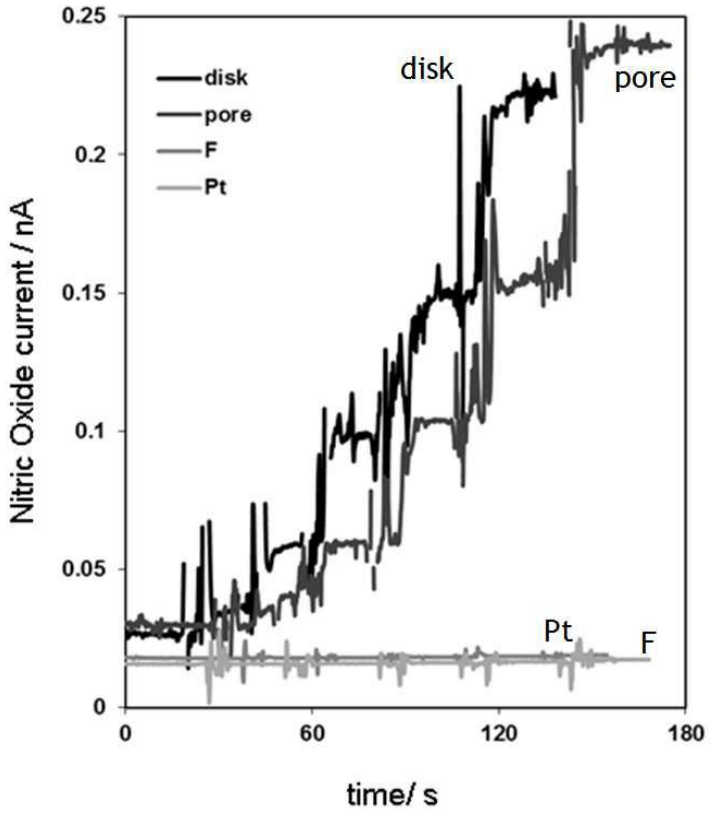

zpu

(perfluoroether diacrylate)

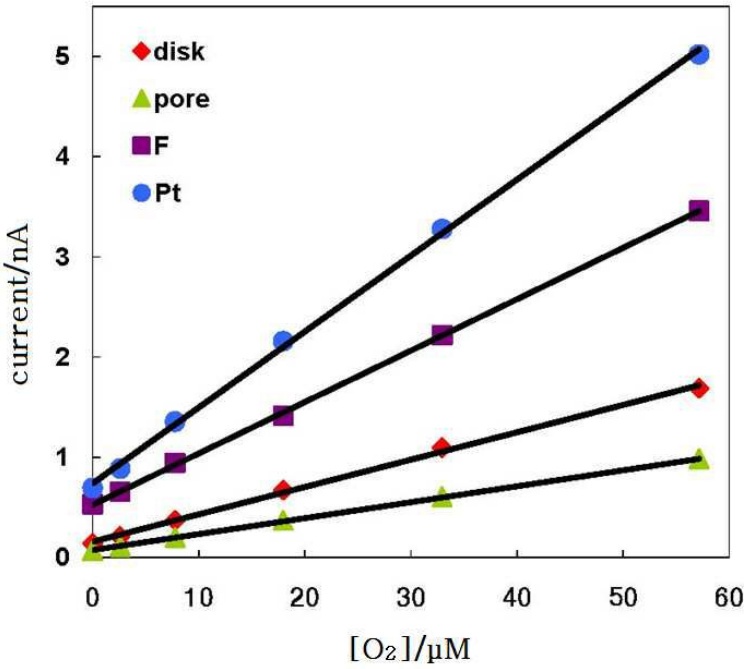
도면5



도면6


disk
pore
F
Pt
disk
pore
Pt
F
Nitric Oxide current / nA
time/ s
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0
60
120
180

도면7


disk
pore
F
Pt
current/nA
[O2]/μM
5
4
3
2
1
0
0
10
20
30
40
50
60

도면8

