



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년12월13일  
(11) 등록번호 10-2476652  
(24) 등록일자 2022년12월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B29D 11/00 (2006.01) B41M 3/12 (2006.01)  
C08F 20/12 (2006.01) C08F 20/20 (2006.01)  
C08F 20/56 (2006.01) C08L 101/00 (2006.01)  
G01N 21/78 (2006.01) B29L 11/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
B29D 11/0074 (2013.01)  
B41M 3/12 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0021796

(22) 출원일자 2021년02월18일

심사청구일자 2021년02월18일

(65) 공개번호 10-2021-0105311

(43) 공개일자 2021년08월26일

(30) 우선권주장  
1020200019842 2020년02월18일 대한민국(KR)

(56) 선행기술조사문헌  
MEMS 2012, Paris, FRANCE, 29 January - 2  
February 2012\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자  
이원목  
서울특별시 강남구 선릉로126길 22, 105동 1102호  
(삼성동, 롯데캐슬프리미어아파트)

윤소희  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동)

(74) 대리인  
특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 13 항

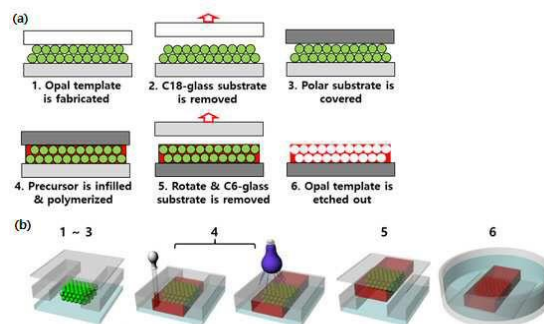
심사관 : 하승규

(54) 발명의 명칭 광결정 센서의 제조 방법

(57) 요약

본원은, 전자 과정을 포함하는 광결정 센서의 제조 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

*C08F 20/12* (2013.01)

*C08F 20/20* (2013.01)

*C08F 20/56* (2013.01)

*C08L 101/00* (2013.01)

*G01N 21/78* (2013.01)

*B29L 2011/00* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711091804
과제번호	2019R1A2C1010088
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	인공오팔 플랫폼 제작 및 포토닉 센서 응용 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

- a) 상부 기판 및 하부 기판 사이에 오팔 템플레이트를 형성하는 것;
  - b) 상기 상부 기판을 분리하고, 노출된 상기 오팔 템플레이트의 상부에 기재를 부착하는 것;
  - c) 상기 오팔 템플레이트 사이에 수화젤 단량체 혼합물을 주입 및 중합시키는 것;
  - d) 상기 하부 기판과 상기 기재를 분리하는 것; 및
  - e) 상기 오팔 템플레이트를 제거하여 역오팔 광결정 수화젤 구조를 형성하는 것
- 을 포함하는, 광결정 센서의 제조 방법으로서,
- 상기 d)는 상기 기재에 상기 오팔 템플레이트가 포함된 수화젤이 전사되는 것을 포함하는 것이며, 상기 상부 기판 및 상기 하부 기판은 비극성이거나, 또는 비극성 처리되는 것을 포함하는 것이며, 상기 기재는 플렉시블 필름을 포함하는 것이며, 상기 기재는, 상기 기재 자체가 극성이거나 또는 극성 처리된 것을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 비극성 처리는 트리클로로옥타데실실란, 2,2,4-트리메틸펜탄, 트리클로로헥실실란, 테르피네올, 부틸카비톨, 부틸카비톨아세테이트, 텍사놀, 부틸셀룰로오브 아세테이트, 부틸셀룰로오브, 및 디에틸렌글리콜에탈에테르에서 선택되는 하나 이상의 용매로서 처리되는 것을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 상부 기판 및/또는 상기 하부 기판은 유리 기판, 실리콘 기판 또는 플라스틱 기판을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 오팔 템플레이트는 고분자 콜로이드 입자를 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 고분자 콜로이드 입자는, 폴리스타이렌, 폴리알파메틸스티렌, 폴리아크릴레이트, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리에틸메타크릴레이트, 폴리프로필메타크릴레이트, 폴리부틸메타크릴레이트, 폴리벤질메타크릴레이트, 폴리페닐메타크릴레이트, 폴리-1-메틸시클로헥실메타크릴레이트, 폴리시클로헥실메타크릴레이트, 폴리클로로벤질메타크릴레이트, 폴리-1-페닐에틸메타크릴레이트, 폴리-1,2-디페닐에틸메타크릴레이트, 폴리디페닐메틸메타크릴레이트, 폴리퍼퓨릴메타크릴레이트, 폴리-1-페닐시클로헥실메타크릴레이트, 폴리펜타클로로페닐메타크릴레이트, 폴리펜타브로모페닐메타크릴레이트, 폴리디메틸실록산 및 폴리-N-이소프로필아크릴아미드에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 8**

제 6 항에 있어서,

상기 고분자 콜로이드 입자의 크기는 100 nm 내지 3,000 nm인 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 플렉시블 필름은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET; polyethyleneterephthalate), 폴리이미드(PI; polyimide), 폴리이미드아미드(polyimideamide), 폴리에테르이미드(PEI; polyetherimide), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN; polyethylenenaphthalate), 폴리에테르에테르케톤(PEEK; polyetheretherketon), 사이클릭 올레핀 중합체(COP; cyclic olefin polymer), 폴리아크릴레이트(PAC; polyacrylate), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA; polymethylmethacrylate) 및 트리아세틸셀룰로오스(TAC; triacetylcellulose)에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 12**

제 1 항에 있어서,

상기 수화젤 단량체 혼합물은 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트, 2,2-디메톡시-1,2-디페닐레탄-1-온(Irgacure-651), N,N-메틸렌바이사크릴아미드, 아크릴산, 메타크릴산, N-이소프로필아크릴아미드, 2,2-디에톡시아세토페논, 3-플루오로-4-아크릴아미도-페닐보론산, 디메틸 설폭사이드, N-(3-(디메틸아미노)프로필)메타크릴아미드, 아크릴아미드, N,N-디메틸아크릴아미드, 메타크릴아미드, 메틸 메타크릴레이트, 2-히드록시에틸메타크릴레이트, 글리세릴 메타크릴레이트, N-비닐-2-피롤리돈, α-메틸렌-N-메틸-피롤리돈 및 1-비닐 이미다졸에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 13**

제 1 항에 있어서,

상기 오팔 템플레이트를 제거하는 것은 용매를 주입하는 것에 의해 수행되는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 용매는 클로로포름, 디클로로메테인, 테트라클로로메테인, 톨루엔, 벤젠, 디메틸포름아마이드, 디메틸아세트아마이드, 테트라하이드로퓨란 및 디옥산에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광결정 센서의 제조 방법.

**청구항 15**

제 1 항, 제 4 항 내지 제 8 항, 및 제 11 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 따른 광결정 센서의 제조 방법을 동시 또는 순차적으로 2 회 이상 수행하여 2 개 이상의 광결정 센서를 포함하는 다중 센서를 형성하는 것을 포함하는, 다중 센서의 제조 방법.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 2 개 이상의 광결정 센서는 동일하거나 상이한 것인, 다중 센서의 제조 방법.

**청구항 17**

제 15 항에 있어서,

상기 2 개 이상의 광결정 센서의 기제는 플렉시블 필름을 포함하는 것인, 다중 센서의 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본원은, 전사 과정을 포함하는 광결정 센서의 제조 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 혈당 센서, 습도 센서, 알코올 센서 등과 같이, 외부 자극에 감응하는 센서는 현재 우리 삶에서 많이 사용되고 있다. 그 중에서 자극에 대한 감응을 가시적으로 확인할 수 있는 광학 센서에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 광학 센서는 광결정을 바탕으로 만들어지며, 상기 광결정은 염료에 의한 색이 아닌 Bragg 법칙에 따른 구조색에 의해 우리 눈에 색을 보이게 한다. 광결정이 가지는 구조를 오팔 구조라고 하며, 오팔 구조와 반대 개념인 역오팔 구조는 오팔 구조 외부 공간이 차 있고 오팔 구조의 공간이 비어있는 구조를 말한다. 상기 역오팔 구조는 표면적이 넓기 때문에 특정 자극에 감응하기 더욱 유리하므로 수화젤 센서로 활용하기에 적합하다. 현재 주로 제조되고 있는 역오팔 수화젤 센서들은 유리 기판 위에 오팔 입자를 코팅하거나, 유리로 만들어진 셀 안으로 오팔 용액을 주입하여 말리는 형태로 템플레이트가 제조되고 있다.

[0003] 이와 관련하여, 광결정 오팔 템플레이트에 하이드록시에틸 메타크릴레이트(HEMA; hydroxyethyl methacrylate) 수화젤과 이온성 액체를 사용하여 습도 센서로서 사용한 연구가 있으나[Natasha L. Smith, Zhenmin Hong and Sanford A. Asher, Analyst, 2014, 139, 6379], 상기 연구는 오팔 템플레이트를 사용하여 감응 속도가 느리다는 단점이 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 본원은, 전사 과정을 포함하는 광결정 센서의 제조 방법에 관한 것이다.

[0005] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제

들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 본원의 제 1 측면은, a) 상부 기판 및 하부 기판 사이에 오팔 템플레이트를 형성하는 것; b) 상기 상부 기판을 분리하고, 노출된 상기 오팔 템플레이트의 상부에 기재를 부착하는 것; c) 상기 오팔 템플레이트 사이에 수화젤 단량체 혼합물을 주입 및 중합시키는 것; d) 상기 하부 기판과 상기 기재를 분리하는 것; 및 e) 상기 오팔 템플레이트를 제거하여 역오팔 광결정 수화젤 구조를 형성하는 것을 포함하는, 광결정 센서의 제조 방법을 제공한다.

[0007] 본원의 제 2 측면은, 제 1 측면에 따른 광결정 센서의 제조 방법을 동시 또는 순차적으로 2 회 이상 수행하여 2 개 이상의 광결정 센서를 포함하는 다중 센서를 형성하는 것을 포함하는, 다중 센서의 제조 방법을 제공한다.

**발명의 효과**

[0008] 본원의 구현예들에 따르면, 노출된 오팔 템플레이트의 상부에 기재(예를 들어, 플렉시블 필름)를 부착하는 과정을 포함하여, 기판에 부착된 형태가 아닌 프리-스탠딩(free-standing)한 역오팔 광결정 센서를 제조할 수 있다.

[0009] 본원의 구현예들에 따르면, 노출된 상기 오팔 템플레이트의 상부에 플렉시블 필름을 부착함으로써, 기판에 부착된 형태가 아닌 프리-스탠딩(free-standing)한 역오팔 광결정 센서를 제조함으로써, 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서의 다중 생산 및 대량 생산이 가능하다.

[0010] 본원의 구현예들에 따르면, 상기 역오팔 광결정 센서를 제조함으로써, 다중 전사 과정 및 연속적 전사 과정이 가능하여 상기 역오팔 광결정 센서 제조의 효율을 높일 수 있다.

[0011] 본원의 구현예들에 따르면, 상기 역오팔 광결정 센서는 감지 단량체의 종류를 변경함으로써 pH 센서, 온도 센서, 글루코오스 센서, 또는 CO<sub>2</sub> 센서 등과 같은 다양한 센서의 제조가 가능하여 상기 역오팔 광결정 센서의 제조에 제한 없이 적용될 수 있다.

[0012] 본원의 구현예들에 따르면, 상기 역오팔 광결정 센서의 다중 센서 어레이는 전사 과정을 활용함으로써, 센서 전구체 주입, 광중합 및 비극성 처리한 기판들의 분리의 단계를 반복하여 제작할 수 있으며, 이에 따라 원하는 센서를 수득할 수 있어 고수율이 가능한 이점이 있다.

[0013] 본원의 구현예들에 따르면, 상기 역오팔 광결정 센서의 제조에 사용되는 상기 기판 및 상기 기재의 극성을 다르게 함으로써, 비교적 극성이 높은 상기 기재로 오팔 템플레이트 및 중합된 수화젤의 전사가 이루어질 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0014] 도 1(a)는, 본원의 일 실시예에 있어서, 오팔 템플레이트에 포함되는 폴리스타이렌의 과장에 따른 반사율을 나타낸 그래프이고, 도 1(b)는, 본원의 일 실시예에 있어서, 오팔 템플레이트로서 사용된 폴리스타이렌의 SEM 이미지를 나타낸 것이다.

도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, 콜로이드 조립을 위한 직접적으로 강화된 증발(DEECA; directed enhanced evaporation for colloidal assembly) 과정을 거친 셀의 제조 과정을 나타낸 것이다.

도 3(a)는, 본원의 일 실시예에 있어서, 슬라이드 글라스, 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET; polyethyleneterephthalate) 필름 (플렉시블 필름), 트리클로로옥타데실실란으로 비극성 처리된 하부 기판 (C6-글라스) 및 트리클로로옥타데실실란으로 비극성 처리된 상부 기판 (C18-글라스)의 컨택 앵글을 나타낸 것이며, 도 3(b)는, 본원의 일 실시예에 있어서, 상기 기판들의 상대적인 극성을 나타낸 것이다.

도 4(a)는, 본원의 일 실시예에 있어서, 전사 공정을 통한 역오팔 광결정 수화젤 센서의 제조 방법에 대한 모식도이며, 도 4(b)는, 본원의 일 실시예에 있어서, PET 및 C6-글라스 사이에 있는 오팔 템플레이트(1~3), 전구체 주입 및 광중합(4), C6-글라스 제거(5) 및 오팔 템플레이트의 화학적 에칭(6)을 나타낸 3D 개략도이다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 센서 단면의 상단, 중간 및 하단 영역에서 촬영한, 전사 공정으로 제조된 아크릴 산 함유-역오팔 광결정 수화젤 센서의 SEM 이미지를 나타낸 것이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, 각각 반치전폭(FWHM; full width at half maximum)의 어닐링 후, 단량체 주입 후 (오팔 템플레이트 + 단량체), 광중합 후 (오팔 템플레이트 + 고분자), 오팔 템플레이트 + 고분자 전사

후 (좌우 전환), 역오팔 광결정 수화젤 센서 (오팔 템플레이트 제거 후), pH 2 및 pH 5의 스팟(spot)을 나타낸 것이다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 아크릴 산을 사용하여 제조한 pH 센서의 (a) pH 2 및 pH 7에서 PET 기재 상의 아크릴 산 함유 역오팔 광결정 수화젤 센서(pH 센서)의 변색 사진, (b) 반사 스펙트럼 및 (c) pH 2 및 pH 7 사이에서 반복되는 pH 변화 하에서의  $\lambda_{peak}$ 의 플롯을 나타낸 것이다.

도 8(a)는, 본원의 일 실시예에 있어서, 전사 공정에 의한 N-이소프로필아크릴아미드(NIPAAm; N-isopropylacrylamide)-함유 역오팔 광결정 수화젤 센서(온도 센서)의 10°C에서 70°C까지 5°C마다 측정되는 온도 변화에 따른 구조적 색상의 변화, 도 8(b)는, 본원의 일 실시예에 있어서, PET 상의 NIPAAm 함유 상기 온도 센서의 25°C 및 50°C에서 변색 사진을 나타낸 것이다. 도 8(c) 및 도 8(d)는, 각각 본원의 일 실시예에 있어서, PET 상의 NIPAAm 함유 상기 온도 센서의 15°C 및 25°C에서의 반사 스펙트럼 및 15°C 및 25°C에서의 반복된 온도 변화 따른  $\lambda_{peak}$ 의 플롯을 나타낸 것이다.

도 9는, 본원의 일 실시예에 있어서, 다중 센서 어레이(온도 센서 + pH 센서)의 제조 방법을 나타낸 모식도이다.

도 10(a)는, 본원의 일 실시예에 있어서, pH 2의 완충 용액에서 PET의 온도(20°C 및 70°C)에 따른 다중 센서의 구조 색상 변화, 도 10(b)는, 본원의 일 실시예에 있어서, PET의 온도가 20°C일 때 완충 용액의 pH(pH 2 및 pH 7)에 따른 다중 센서의 구조 색상 변화를 나타낸 것이고, 도 10(c)는, 본원의 일 실시예에 있어서, PET 상의 다중 센서를 나타낸 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0015] 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.
- [0016] 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.
- [0017] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상"에 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0018] 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 사용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "~(하는) 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.
- [0019] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합(들)"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.
- [0020] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는 "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0022] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나, 본원이 이러한 구현예 및 실시예와 도면에 제한되지 않을 수 있다.
- [0024] 본원의 제 1 측면은, a) 상부 기관 및 하부 기관 사이에 오팔 템플레이트를 형성하는 것; b) 상기 상부 기관을 분리하고, 노출된 상기 오팔 템플레이트의 상부에 기재를 부착하는 것; c) 상기 오팔 템플레이트 사이에 수화젤 단량체 혼합물을 주입 및 중합시키는 것; d) 상기 하부 기관과 상기 기재를 분리하는 것; 및 e) 상기 오팔 템플레이트를 제거하여 역오팔 광결정 수화젤 구조를 형성하는 것을 포함하는, 광결정 센서의 제조 방법을 제공한다.
- [0025] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 d)는 상기 기재에 상기 오팔 템플레이트가 포함된 수화젤이 전사되는 것을 포



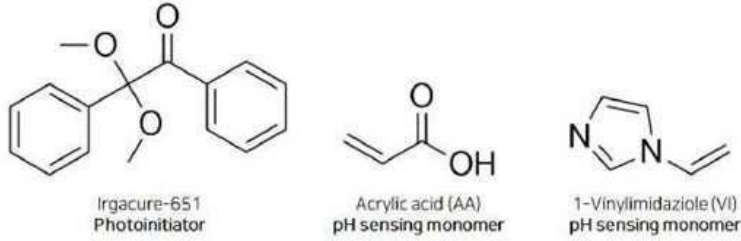
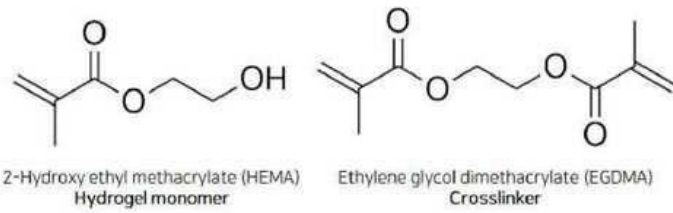
함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0026] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 오팔 템플레이트는 프리-스탠딩(free-standing)한 형태일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0027] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관 및/또는 상기 하부 기관은 상기 기관 자체가 비극성이거나, 또는 비극성 처리되는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관 및 상기 하부 기관은 비극성 처리될 수 있다.
- [0028] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 비극성 처리는 트리클로로옥타데실실란, 2,2,4-트리메틸펜탄, 트리클로로헥실실란, 테르피네올, 부틸카비톨, 부틸카비톨아세테이트, 텍사놀, 부틸셀룰로솔브 아세테이트, 부틸셀룰로솔브, 및 디에틸렌글리콜에틸테르에서 선택되는 하나 이상의 용매로서 처리되는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0029] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관은 트리클로로옥타데실실란, 및 2,2,4-트리메틸펜탄의 용매로서 비극성 처리될 수 있고, 상기 하부 기관은 트리클로로헥실실란 및 2,2,4-트리메틸펜탄의 용매로서 비극성 처리될 수 있다. 상기 상부 기관 및 상기 하부 기관은 각각 다르게 비극성 처리되며, 상기 하부 기관이 상기 상부 기관보다 덜 비극성이다.
- [0030] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관 및/또는 상기 하부 기관은 유리 기관, 실리콘 기관 또는 플라스틱 기관을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관 및 상기 하부 기관은 유리 기관일 수 있다.
- [0031] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 오팔 템플레이트는 고분자 콜로이드 입자를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0032] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자 콜로이드 입자는, 폴리스타이렌, 폴리알파메틸스티렌, 폴리아크릴레이트, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리에틸메타크릴레이트, 폴리프로필메타크릴레이트, 폴리부틸메타크릴레이트, 폴리벤질메타크릴레이트, 폴리페닐메타크릴레이트, 폴리-1-메틸시클로헥실메타크릴레이트, 폴리시클로헥실메타크릴레이트, 폴리클로로벤질메타크릴레이트, 폴리-1-페닐에틸메타크릴레이트, 폴리-1,2-디페닐에틸메타크릴레이트, 폴리디페닐메틸메타크릴레이트, 폴리퍼퓨릴메타크릴레이트, 폴리-1-페닐시클로헥실메타크릴레이트, 폴리펜타클로로페닐메타크릴레이트, 폴리펜타브로모페닐메타크릴레이트, 폴리디메틸실록산 및 폴리-N-이소프로필아크릴아미드에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자 콜로이드 입자의 크기는 약 100 nm 내지 약 3,000 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 고분자 콜로이드 입자는 약 100 nm 내지 약 3,000 nm, 약 100 nm 내지 약 2,000 nm, 약 100 nm 내지 약 1,000 nm, 약 100 nm 내지 약 500 nm, 약 200 nm 내지 약 3,000 nm, 약 200 nm 내지 약 2,000 nm, 약 200 nm 내지 약 1,000 nm, 약 200 nm 내지 약 500 nm, 약 300 nm 내지 약 3,000 nm, 약 300 nm 내지 약 2,000 nm, 약 300 nm 내지 약 1,000 nm 또는 약 300 nm 내지 약 500 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0034] 본원의 일 구현예에 있어서, 노출된 상기 오팔 템플레이트의 상부에 플렉시블 필름을 부착함으로써, 기관에 부착된 형태가 아닌 프리-스탠딩(free-standing)한 역오팔 광결정 수화젤 센서를 제조할 수 있다.
- [0035] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기체는, 상기 기체 자체가 극성이거나 또는 극성 처리된 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기체 자체가 극성일 수 있다.
- [0036] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기체는 상기 하부 기관보다 극성이 강할 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 d)는 상기 기체에 상기 오팔 템플레이트가 전사되는 것은, 상기 하부 기관보다 상기 기체가 더 극성이 강하므로 상기 오팔 템플레이트가 포함된 수화젤이 상기 기체에 전사되는 것일 수 있다.
- [0037] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기체는 플렉시블 필름을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0038] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 플렉시블 필름은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET; polyethyleneterephthalate), 폴리이미드(PI; polyimide), 폴리이미드아미드(polyimideamide), 폴리에테르이미드(PEI; polyetherimide), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN; polyethylenenaphthalate), 폴리에테르에테르케톤(PEEK; polyetheretherketon), 사이클릭 올레핀 중합체(COP; cyclic olefin polymer), 폴리아크릴레이트(PAC; polyacrylate), 폴리메틸메타크릴



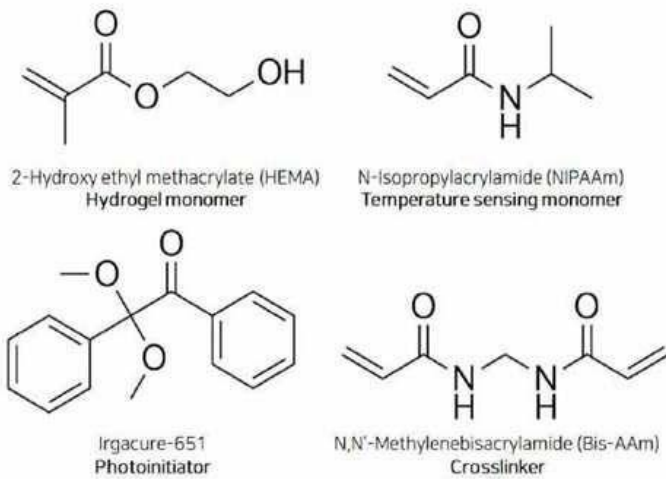
레이트(PMMA; polymethylmethacrylate) 및 트리아세틸셀룰로오스(TAC; triacetylcellulose)에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 플렉시블 필름은 폴리에틸렌 테레프탈레이트일 수 있다.

- [0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 수화젤 단량체 혼합물은 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트, 2,2-디메톡시-1,2-디페닐레탄-1-온(Irgacure-651), N,N-메틸렌바이사크릴아미드, 아크릴산, 메타크릴산, N-이소프로필아크릴아미드, 2,2-디에톡시아세트페논, 3-플루오로-4-아크릴아미도-페닐보론산, 디메틸 설펝사이드, N-(3-(디메틸아미노)프로필)메타크릴아미드, 아크릴아미드, N,N-디메틸아크릴아미드, 메타크릴아미드, 메틸 메타크릴레이트, 2-히드록시에틸메타크릴레이트, 글리세릴 메타크릴레이트, N-비닐-2-피롤리돈,  $\alpha$ -메틸렌-N-메틸-피롤리돈 및 1-비닐 이미다졸에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 예를 들어, pH 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트, 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트, Irgacure-651, 아크릴 산 및 1-비닐이미다졸에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있고, 온도 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트, N-이소프로필아크릴아미드, N,N-메틸렌바이사크릴아미드 및 Irgacure-651에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 예를 들어, 글루코오스 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 아크릴아미드, N,N-메틸렌바이사크릴아미드, 2,2-디에톡시아세트페논, 3-플루오로-4-아크릴아미도-페닐보론산 및 디메틸 설펝사이드에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있고, CO<sub>2</sub> 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트, 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트, Irgacure-651 및 N-(3-(디메틸아미노)프로필)메타크릴아미드에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0042] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 오판 템플레이트 사이에 수화젤 단량체 혼합물을 중합시키는 단계는, 상기 오판 템플레이트 사이에 상기 수화젤 단량체 혼합물을 주입하고, UV 램프에 의해 상기 수화젤 단량체 혼합물을 중합시키는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 오판 템플레이트를 제거하는 것은 용매를 주입하는 것에 의해 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0044] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 용매는 클로로포름, 디클로로메테인, 테트라클로로메테인, 톨루엔, 벤젠, 디메틸포름아마이드, 디메틸아세트아마이드, 테트라하이드로퓨란 및 디옥산에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 용매는 클로로포름일 수 있다.
- [0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 노출된 상기 오판 템플레이트의 상부에 플렉시블 필름을 부착함으로써, 기판에 부착된 형태가 아닌 프리-스탠딩(free-standing)한 역오판 광결정 수화젤 센서를 제조함으로써, 상기 역오판 수화젤 센서의 대량 생산이 가능하다.
- [0046] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 역오판 광결정 수화젤 센서를 제조함으로써, 다중 전사 및/또는 연속적 전사 과정에 의해 상기 역오판 광결정 센서 제조의 효율을 높일 수 있다.
- [0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 역오판 광결정 수화젤 센서는 온도 센서, 글루코오스 센서, pH 센서, CO<sub>2</sub> 센서 등을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 역오판 광결정 수화젤 센서는 감지 단량체의 종류를 변경함으로써 pH 센서, 온도 센서, 글루코오스 센서, CO<sub>2</sub> 센서 등과 같은 다양한 센서의 제조가 가능하여 상기 역오판 광결정 센서의 제조에 제한없이 적용될 수 있다.
- [0048] 본원의 일 구현예에 있어서, 역오판 광결정 수화젤 pH 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



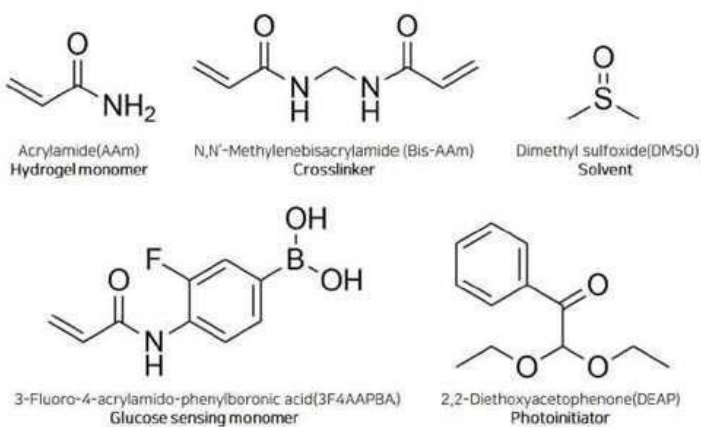
[0049]

[0050] 본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 온도 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



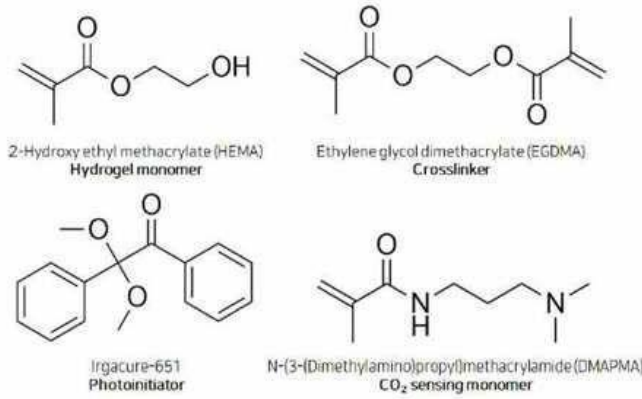
[0051]

[0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 글루코오스 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



[0053]

[0054] 본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 CO<sub>2</sub> 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



[0055]

[0056]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서의 조절 인자는 각각, 폴리스타이렌(PS) 수분산액 주입 후 건조 시 습도, 단량체 혼합물 주입 시간, 콜로이드 조립을 위한 직접적으로 강화된 증발(DEECA; directed enhanced evaporation for colloidal assembly) 과정을 거친 셀의 하부 기판에 대한 NaOH 처리 등을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서의 가장 적합한 습도는 인위적으로 습도를 높이지 않은 정상시의 온도이며, 가장 적합한 단량체 혼합물의 주입 시간은 1 시간, DEECA 과정을 거친 셀의 하부 기판에 대한 가장 적합한 NaOH 처리는 0.1 M NaOH 수용액에서 24 시간 침지하는 것이다.

[0058]

본원의 제 2 측면은, 제 1 측면에 따른 광결정 센서의 제조 방법을 동시 또는 순차적으로 2 회 이상 수행하여 2 개 이상의 광결정 센서를 포함하는 다중 센서를 형성하는 것을 포함하는, 다중 센서의 제조 방법을 제공한다.

[0059]

본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었다더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0060]

본원의 일 구현예에 있어서, a) 1차 전사되어 노출된 상기 오팔 템플레이트의 상부에 기재를 부착하는 것; b) 상기 오팔 템플레이트 사이와 상기 기재 사이에 광결정 센서 전구체를 주입 및 광중합시켜 광결정 센서 기재를 제조하는 것; c) 상기 광결정 센서 기재를 분리하는 것; d) 광결정 센서 부착 후 2차 전사하여 광결정 센서를 주입 및 광중합시켜 광결정 센서 기재를 제조하는 것; 및 e) 상기 기재들을 제거한 후 다중 센서 어레이를 형성하는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0061]

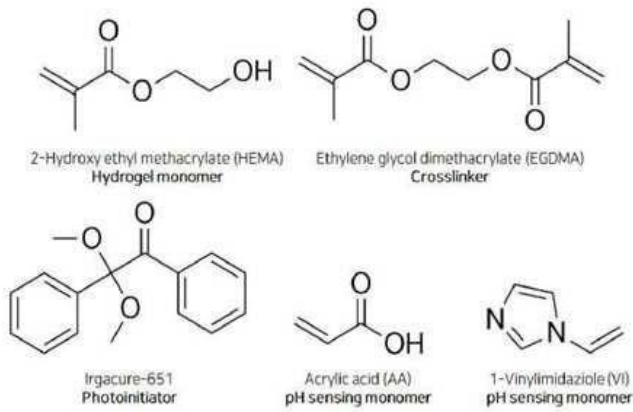
본원의 일 구현예에 있어서, 상기 2 개 이상의 광결정 센서는 동일하거나 상이한 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 2 개 이상의 광결정 센서는, 각각 독립적으로, 온도 센서, 글루코오스 센서, pH 센서 또는 CO<sub>2</sub> 센서에서 선택되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 2 개 이상의 광결정 센서는, 각각 독립적으로, pH 센서 및/또는 온도 센서일 수 있다.

[0062]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서는 감지 단량체의 종류를 변경함으로써 pH 센서, 온도 센서, 글루코오스 센서, CO<sub>2</sub> 센서 등과 같은 다양한 센서의 제조가 가능하여 상기 역오팔 광결정 센서의 제조에 제한없이 적용될 수 있다.

[0063]

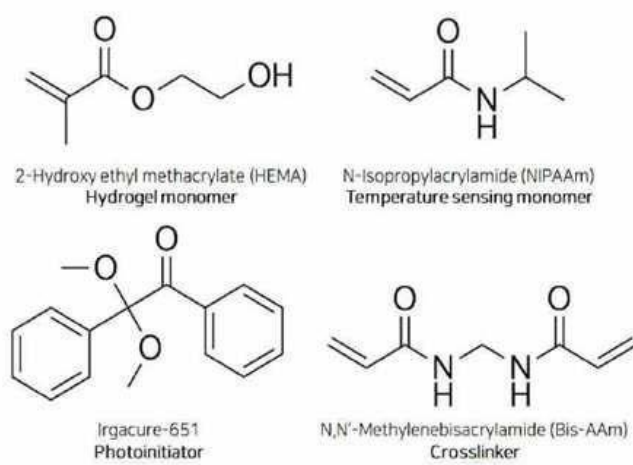
본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 pH 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



[0064]

[0065]

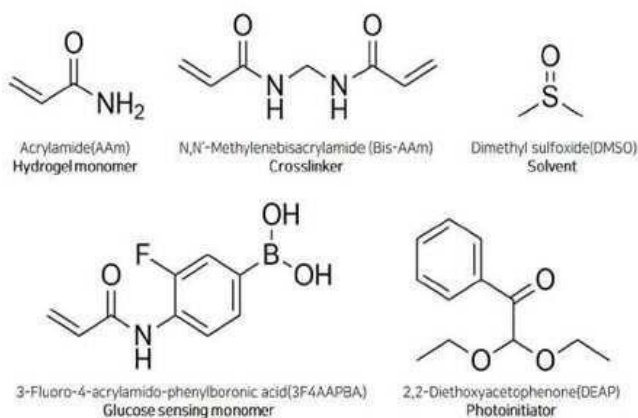
본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 온도 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



[0066]

[0067]

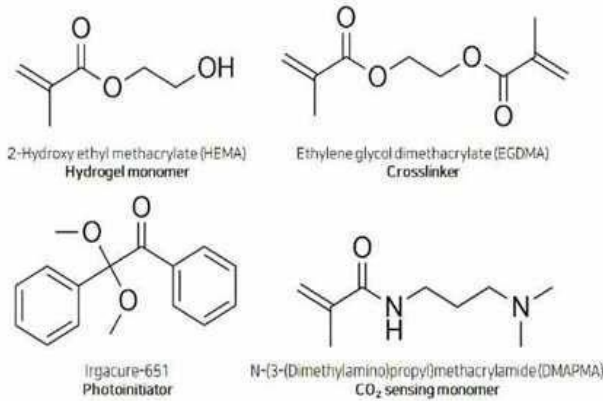
본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 글루코오스 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



[0068]

[0069]

본원의 일 구현예에 있어서, 역오팔 광결정 수화젤 CO<sub>2</sub> 센서를 구성하는 물질들은 하기에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다:



- [0070]
- [0071] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 2 개 이상의 광결정 센서의 기재는 플렉시블 필름을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0072] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 플렉시블 필름은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET; polyethyleneterephthalate), 폴리이미드(PI; polyimide), 폴리이미드아미드(polyimideamide), 폴리에테르이미드(PEI; polyetherimide), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN; polyethylenenaphthalate), 폴리에테르에테르케톤(PEEK; polyetheretherketon), 사이클릭 올레핀 중합체(COP; cyclic olefin polymer), 폴리아크릴레이트(PAC; polyacrylate), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA; polymethylmethacrylate) 및 트리아세틸셀룰로오스(TAC; triacetylcellulose)에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 플렉시블 필름은 폴리에틸렌 테레프탈레이트일 수 있다.
- [0073] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관 및/또는 상기 하부 기관은 상기 기관 자체가 비극성이거나, 또는 비극성 처리되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0074] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 비극성 처리는 트리클로로옥타데실실란, 2,2,4-트리메틸펜탄, 트리클로로헥실실란, 테르피네올, 부틸카비톨, 부틸카비톨아세테이트, 텍사놀, 부틸셀루솔브 아세테이트, 부틸셀루솔브, 및 디에틸렌글리콜에틸에테르에서 선택되는 하나 이상의 용매로서 처리되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0075] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 상부 기관은 트리클로로옥타데실실란, 및 2,2,4-트리메틸펜탄의 용매로서 비극성 처리될 수 있고, 상기 하부 기관은 트리클로로헥실실란 및 2,2,4-트리메틸펜탄의 용매로서 비극성 처리될 수 있다. 상기 상부 기관 및 상기 하부 기관은 각각 다르게 비극성 처리되며, 상기 하부 기관이 상기 상부 기관보다 덜 비극성이다.
- [0076] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 오팔 템플레이트 사이에 센서 전구체를 광중합시키는 단계는, 상기 오팔 템플레이트 사이에 상기 전구체를 주입하고, UV 램프에 의해 상기 센서 전구체를 중합시키는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0077] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 단계 d)에서 상기 기재를 제거하는 것은 용매를 주입하는 것에 의해 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0078] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 용매는 클로로포름, 디클로로메테인, 테트라클로로메테인, 톨루엔, 벤젠, 디메틸포름아마이드, 디메틸아세트아마이드, 테트라하이드로퓨란 및 디옥산에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 용매는 클로로포름일 수 있다.
- [0079] 이하, 본원의 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하고자 하나, 하기의 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0081] [실시예]
- [0082] 실시예 1: 콜로이드 조립을 위한 직접적으로 강화된 증발(DEECA; directed enhanced evaporation for colloidal assembly) 과정의 최적화에 대한 실험기구 및 시약
- [0083] 1) 폴리스타이렌(PS; Polystyrene) 구형 나노입자



- [0084] 에멀전 중합을 사용한 폴리스타이렌(PS; Polystyrene) 구형 나노입자의 합성을 위해, 먼저 단량체인 스타이렌(styrene) ( $\geq 99\%$  Sigma Aldrich), 열 개시제인 포타슘 퍼설페이트(PPS; potassium persulfate) (99.99%, Sigma Aldrich), 계면활성제인 소듐 도데실 설페이트(SDS; sodium dodecyl sulfate) (99.8%, Sigma Aldrich), 용매로는 3차 증류수(MIlli-Q-system)를 사용하였다. 상기 스타이렌 시약에 안정화제인 4-tert-부틸피로카테콜(4-tert-butylpyrocatechol)의 제거를 위해 알루미늄 옥사이드(aluminum oxide) (basic, Sigma Aldrich)를 사용하여 정제시켰다. 상기 에멀전 중합이 끝난 후 PS 수분산액은 셀룰로오스 멤브레인(cellulose membrane, cellu Sep)에 담아 정제해주었으며, 여분의 스타이렌 단량체들을 제거하였다. 정제가 끝나고 이온 교환 수지(AG501-X8, Bio-Rad)를 첨가하여 냉장 보관시켰다.
- [0085] 2) DEECA 셀을 응용한 오팔 템플레이트
- [0086] 상기 DEECA 셀은 슬라이드 유리 기판(MARIENEFELD)을 사용하였으며, 상기 유리 기판의 세척을 위해 암모니아 용액(25% 내지 30%, Duksan), 하이드로젠 퍼옥사이드(hydrogen peroxide) (Duksan), 및 3차 증류수를 사용하였다. 상부 유리 기판은 트리클로로옥타데실실란(trichlorooctadecylsilane) ( $\geq 90\%$ , Sigma Aldrich) 및 2,2,4-트리메틸펜탄(2,2,4-trimethylpentane) (99.5%, Samchun)를 사용하여 비극성 처리하였다. 비극성 처리 후 상기 유리 기판의 세척을 위해 에탄올(99.9%, Samchun)을 사용하였다. 오팔 템플레이트를 쌓기 위한 스페이서는 25  $\mu\text{m}$  두께의 설린(surlyn) (WooyangGMS)을 사용하였다.
- [0087] 3) pH 센서
- [0088] pH 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA; 2-hydroxy ethyl methacrylate) ( $\geq 95.0\%$ , Duksan), 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트(EGDMA; ethylene glycol dimethacrylate) (98%, Sigma Aldrich), 2,2-디메톡시-1,2-디페닐에탄-1-온(2,2-dimethoxy-1,2-diphenylethan-1-one; Irgacure-651) (Ciba specialty chemicals), 3차 증류수 및 아크릴산(99.0%, Junsei)을 사용하였다. 365 nm 파장의 높은 세기의 UV 램프(UVP.B-100AP)를 사용하여 수화젤 단량체 혼합물을 광중합하였으며, 광량의 조절을 위해 중립 밀도 필터 (3.0 OD, Edmund Optics)를 사용하였다. 광중합 후 PS 오팔 템플레이트를 제거하였고, 역오팔 구조로 만들기 위해 클로로포름(99.5%, Samchun)을 사용하였으며, 세척 과정을 위해 아세토니트릴(99.5%, Samchun), 및 3차 증류수를 사용하였다. pH 센서의 보관은 0.1 M 포타슘 포스페이트(99%, Duksan) 버퍼를 사용하였으며, pH 2 포타슘 포스페이트 버퍼와 pH 7 포타슘 포스페이트 버퍼의 제조를 위해 각각 하이드로클로릭산(35.0% 내지 37.0%, Samchun) 및 소듐 하이드록시드(98%, Samchun)를 사용하였다.
- [0090] <역오팔 광결정 수화젤 센서의 전사 과정의 실험기구 및 시약>
- [0091] 1) DEECA 셀을 응용한 오팔 템플레이트
- [0092] DEECA 셀은 유리 기판(MARIENEFELD)을 사용하였으며, 상기 유리 기판의 세척을 위해 암모니아 용액(25% 내지 30%, Duksan), 하이드로젠 퍼옥사이드(Duksan), 및 3차 증류수를 사용하였다. 종래 DEECA 셀은 상부 기판만 트리클로로옥타데실실란( $\geq 90\%$ , Sigma Aldrich) 및 2,2,4-트리메틸펜탄(99.5%, Samchun)을 사용하여 비극성 처리하였으나, 본원은 전사 과정을 위하여 상부 기판을 트리클로로옥타데실실란( $\geq 90\%$ , Sigma Aldrich) 및 2,2,4-트리메틸펜탄(99.5%, Samchun)을 사용하여 비극성 처리하였고, 하부 기판을 트리클로로헥실실란(trichlorohexylsilane) (97%, Sigma Aldrich) 및 2,2,4-트리메틸펜탄(2,2,4-trimethylpentane) (99.5%, Samchun)을 사용하여 비극성 처리하였다. 상기 비극성 처리 후 상기 유리 기판의 세척을 위해 에탄올(99.9%, Samchun)을 사용하였다. 오팔 템플레이트를 쌓기 위한 스페이서는 25  $\mu\text{m}$  두께의 설린(WooyangGMS)을 사용하였다.
- [0093] 2) 다양한 역오팔 광결정 수화젤 센서
- [0094] pH 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트 (HEMA) ( $\geq 95.0\%$ , Duksan), 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트(EGDMA) (98%, Sigma Aldrich), Irgacure-651(Ciba specialty chemicals), 3차 증류수 및 아크릴 산 (99.0%, Junsei) 또는 1-비닐이미다졸(1-Vinylimidazole) ( $\geq 99\%$ , Sigma)을 사용하였다.
- [0095] 온도 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA) ( $\geq 95.0\%$ , Duksan), N-이소프로필아크릴아미드(N-isopropylacrylamide) (NIPAAm) (TCI), N,N-메틸렌바이사크릴아미드(N,N-methylenebisacrylamide) (Bis-AAm) (99%, Sigma), Irgacure-651(Ciba specialty chemicals), 및 3차 증류수를 사용하였다.
- [0096] 글루코오스 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 아크릴아미드(AAm) ( $\geq 99\%$ , Sigma Aldrich), N,N-메틸렌바이

사크릴아미드(Bis-AAm) (99%, Sigma), 2,2-디에톡시아세토펜론(DEAP; 2,2-diethoxyacetophenone) ( $\geq 95.0\%$ , TCI), 3-플루오로-4-아크릴아미도-페닐보론산(3F4AAPBA; 3-fluoro-4-acrylamido-phenylboronic acid) (수양켄텍), 디메틸 설펝사이드(DMSO; dimethyl sulfoxide) (99.0%, Duksan) 및 3차 증류수를 사용하였다.

[0097] 글루코오스 센서는 포스페이트 버퍼 살린(PBS; phosphate buffered saline) 버퍼 pH 7.4 (1X) (gibco)에서 보관하였으며, 농도별 글루코오스 용액은 PBS 버퍼에 D-(+)-글루코오스( $\geq 99.5\%$ , Sigma Aldrich)를 녹여 제조하였다.

[0098] CO<sub>2</sub> 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물은 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA) ( $\geq 95.0\%$ , Duksan), 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트(EGDMA) (98%, Sigma Aldrich), Irgacure-651(Ciba specialty chemicals), 3차 증류수 및 N-(3-(디메틸아미노)프로필)메타그릴아미드(DMAPMA; N-(3-(dimethylamino)propyl)methacrylamide) (98.5%, TCI)를 사용하였다.

[0099] 365 nm 파장의 높은 세기의 UV 램프(UVP.B-100AP)를 사용하여 수화젤 단량체 혼합물을 광중합하였으며, 광량의 조절을 위해 중립 밀도 필터(3.0 OD, Edmund Optics)를 사용하였다. 광중합 후 PS 오팔 템플레이트를 제거하였고 역오팔 구조로 만들기 위해 톨루엔(99.5%, Samchun)을 사용하였으며, 세척 과정을 위해 아세토니트릴(99.5%, Samchun) 및 3차 증류수를 사용하였다. pH 센서의 보관은 0.1 M 포타슘 포스페이트(99%, Duksan) 버퍼를 사용하였으며 pH 2 포타슘 포스페이트 버퍼 및 pH 7 포타슘 포스페이트 버퍼의 제조를 위하여 각각 하이드로클로릭산(35.0% 내지 37.0%, Samchun)과 소듐 하이드록시드(98%, Samchun)를 사용하였다. 글루코오스 센서는 포스페이트 버퍼 살린(PBS; phosphate buffered saline) 버퍼 pH 7.4(1X) (gibco)에서 보관하였으며, 농도별 글루코오스 용액은 PBS 버퍼에 D-(+)-글루코오스( $\geq 99.5\%$ , Sigma Aldrich)를 녹여 제조하였다. DEECA 셀에 부착된 오팔 템플레이트를 플렉시블 필름(flexible film) 상에 전사를 하기 위해서 플렉시블 필름인 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET; polyethylene terephthalate) 필름(필름뱅크)을 사용하였다.

[0101] <실험과정>

[0102] 1) 폴리스타이렌(PS) 구형 나노입자 합성

[0103] 폴리스타이렌(PS) 구형 나노입자를 합성하기 위하여 유기 분산매에 PS 수분산액을 분산시켜 제조하여 제조 과정을 종래 제조 과정보다 간단히 하였다.

[0104] 도 1(a)는, 오팔 템플레이트에 포함되는 폴리스타이렌의 파장에 따른 반사율을 나타낸 그래프이고, 도 1(b)는, 오팔 템플레이트로서 사용된 폴리스타이렌의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 도 1(a)를 보면, 상기 폴리스타이렌은 약 530 nm의 파장을 가짐을 알 수 있다.

[0105] 2) DEECA 셀을 사용한 오팔 템플레이트 제조

[0106] 도 2는, DEECA 셀의 제조 과정을 나타낸 것이다. DEECA 셀 제조를 위해 먼저 유리 기판을 반으로 잘랐다. 각각 상부 기판, 하부 기판으로 사용하였으며, 상기 상부 기판은 모세관 현상을 사용하기 위해 1 mm 내지 2 mm의 구멍을 뚫어주었다. 유리 기판들의 세척을 위해 30 분 동안 RCA 처리(물 : 암모니아 용액 : 하이드로젠 퍼옥사이드 5 : 1 : 1)한 후 3차 증류수로 세척하여 건조시켰다. 상기 상부 기판과 상기 하부 기판 모두 비극성 처리를 위해 각각, 상기 상부 기판은 트리클로로옥타데실실란 : 2,2,4-트리메틸펜탄 = 1 : 1000의 비율로 제조된 용액에 30 분 침지하였으며, 상기 하부 기판은 트리클로로헥실실란 및 2,2,4-트리메틸펜탄의 용액으로 비극성 처리하였다. 비극성 처리가 끝난 후 에탄올로 세척하여 건조시켰다. 이렇게 준비된 상기 상부 기판과 상기 하부 기판 사이에 25  $\mu$ m 두께의 설린을 삽입시키고, 상기 설린은 제조하고자 하는 오팔 템플레이트의 개수만큼 직사각형에 천공시켰다. 상기 설린과 상기 유리 기판과의 부착을 위해, 열 압력기(hot pressor)로 15초 동안 70°C의 열을 가해 압축시켰다. 이렇게 제조된 DEECA 셀은 상기 상부 기판에 천공이 되어 있기 때문에, 모세관 현상에 의해 상기 설린의 직사각형 구멍 안으로 폴리스타이렌(PS) 수분산액을 주입할 수 있게 된다. 상기 폴리스타이렌(PS) 수분산액을 주입한 후 상기 상부 기판에 천공된 부분을 테이프로 막아주면, 상기 PS 수분산액을 주입한 면의 방향으로 물이 증발되면서 PS 입자들이 자기-어셈블리 의해 정렬이 된다. 상온에서 물을 증발시켜 PS 오팔 템플레이트가 제조되면, 이것을 80°C의 오븐에 넣어 3시간 동안 어닐링을 해주어 구조를 더욱 단단히 만들어주었다.

[0107] 도 3(a)는, 슬라이드 글라스, 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET; polyethyleneterephthalate) 필름(플렉시블 필름), 트리클로로헥실실란(C6-글라스)으로 비극성 처리된 하부 기판 및 트리클로로옥타데실실란(C18-글라스)으로 비극성 처리된 상부 기판의 컨택 앵글을 나타낸 것이다. 구체적으로, 상기 슬라이드 글라스의 컨택 앵글은 11.5



°, 상기 PET 필름(플렉시블 필름)의 컨택 앵글은 47.9°, 트리클로로헥실실란으로 비극성 처리된 하부 기판의 컨택 앵글은 88.8°이며, 상기 트리클로로옥타데실실란으로 비극성 처리된 상부 기판의 컨택 앵글은 97.8°임을 알 수 있다. 도 3(b)는, 상기 기판들의 상대적인 극성을 나타낸 것이며, C18-글라스 < C6-글라스 < PET(또는 유기 기판) 순으로 극성이 커짐을 알 수 있다. 상기 기판의 극성이 클수록 센서 층의 접촉력이 강해진다.

[0108] DEECA 셀을 응용한 오팔 템플레이트의 제조 후에, pH 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물의 제조는 수화젤 단량체인 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA) 2.5 g, 가교제인 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트(EGDMA) 0.025 g, 광개시제인 Irgacure-651 0.075 g, 용매인 3차 증류수 0.625 g 및 감지 단량체인 아크릴 산(AA) 0.0346 g을 20 mL 갈색 바이알에 넣고 완전히 용해시켰다.

[0109] 종래 DEECA 과정과 다른 점은 셀을 제조하는 데 사용하는 유리 기판의 상부 기판, 하부 기판 모두를 비극성 처리하였다는 점이다. 전사 과정을 하기 위해선 먼저 양면이 각각 다르게 비극성 처리된 셀에 오팔 템플레이트를 부착시키고 기판을 분리시켰다. 상부 기판은 트리클로로옥타데실실란, 하부 기판은 트리클로로헥실실란으로 처리가 되었으므로 기판을 분리시키면 오팔 템플레이트는 보다 덜 비극성인 하부 기판에 남아있게 된다.

[0110] 3) 역오팔 광결정 수화젤 센서 제조

[0111] 도 4(a)는, 전사 공정을 통한 역오팔 광결정 수화젤 센서의 제조 방법을 나타낸 모식도이며, 도 4(b)는, PET 및 C6-글라스 사이에 있는 오팔 템플레이트(1-3), 전구체 주입 및 광중합(4), C6-글라스 제거(5) 및 오팔 템플레이트의 화학적 에칭(6)을 나타낸 3D 개략도이다. 오팔 템플레이트를 제조한 후 상기 트리클로로옥타데실실란(C18-글라스)으로 비극성 처리된 상부 기판을 제거하여, 상기 오팔 템플레이트가 노출되어있는 상부에 플렉시블 필름(극성 기재)을 올려 부착시켰다. 양 기판 사이로 감지 단량체가 들어간 수화젤 단량체 혼합물(전구체)을 주입한 후 광중합한 후 뒤집어 트리클로로헥실실란(C6-글라스)으로 비극성 처리된 하부 기판을 제거한 후 오팔 템플레이트를 에칭함으로써 센서를 제조하였다. 상기 기판을 분리하는 과정에서 템플레이트는 상기 유리 기판보다 극성인 플렉시블로 전사되었다. 오팔 입자들을 제거하면 특정 자극에 감응하는 역오팔 광결정 수화젤 센서가 제조된다.

[0112] 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서는 감지 단량체의 종류에 따라 pH 센서, 온도 센서, 글루코오스 센서, CO<sub>2</sub> 센서 등과 같은 다양한 센서 제조가 가능하다. 도 5는, 역오팔 광결정 수화젤 센서 단면의 상단, 중간 및 하단 영역에서 촬영한, 전사 공정으로 제조된 아크릴 산 함유-역오팔 광결정 수화젤 센서의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 상기 SEM 이미지는 상기 PET 기판에 부착되어 있는 역오팔 광결정 수화젤 pH 센서의 다양한 높이에서의 단면을 나타낸 것이다.

[0113] pH 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물의 제조는 수화젤 단량체인 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA) 2.5g, 가교제인 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트(EGDMA) 0.025g, 광개시제인 Irgacure-651 0.075g, 용매인 3차 증류수 0.625g 및 감지 단량체인 아크릴 산(AA) 0.0346g을 20 mL 갈색 바이알에 넣고 완전히 용해시켰다.

[0114] 온도 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물의 제조는 수화젤 단량체인 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA) 1.25g, 감지 단량체인 N-이소프로필아크릴아미드(NIPAAm) 1.25g, 가교제인 N,N-메틸렌바이사크릴아미드(Bis-AAm) 0.075g, 광개시제인 Irgacure-651 0.075g, 및 용매인 3차 증류수 0.625g을 20 mL 갈색 바이알에 넣고 완전히 용해시켰다.

[0115] 글루코오스 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물의 제조는 수화젤 단량체인 아크릴아미드(AAm) 0.24g, 가교제인 N,N-메틸렌바이사크릴아미드(Bis-AAm) 0.01g, 광개시제인 2,2-디에톡시아세토페논(DEAP) 0.006g, 용매인 디메틸 설펍사이드(DMSO) 0.5g 및 감지 단량체인 3-플루오로-4-아크릴아미도페닐보론 산(3F4AAPBA), 0.14g을 20 mL 갈색 바이알에 넣고 완전히 용해시켰다.

[0116] CO<sub>2</sub> 센서를 위한 수화젤 단량체 혼합물의 제조는 수화젤 단량체인 2-하이드록시 에틸 메타크릴레이트(HEMA) 0.6g, 가교제인 에틸렌 글리콜 디메타크릴레이트(EGDMA) 0.016g, 광개시제인 Irgacure-651 0.008g, 용매인 3차 증류수 0.144g 및 감지 단량체인 N-(3-(디메틸아미노)프로필)테마크릴아미드(DMAPMA) 0.135g을 20 mL 갈색 바이알에 넣고 완전히 용해시켰다.

[0117] 오팔 템플레이트가 쌓인 DEECA 셀에 상기 수화젤 단량체 혼합물을 주입하면 모세관 현상에 의해 상기 오팔 템플레이트의 빈 공간 사이로 수화젤 단량체 혼합물이 차게 된다. PS 입자의 크기가 230 nm인 오팔 템플레이트는 초록색을 띠며, 오팔 템플레이트의 빈 공간에 차 있던 공기 대신, 굴절률이 더 높은 수화젤 단량체 혼합물이 들어가면서 적색 변이되며 붉은색을 띠게 된다. 따라서 템플레이트의 색을 통해 수화젤 단량체 혼합물의 주입을 확

인할 수 있다. 수화젤 단량체 혼합물이 완전히 주입이 되면, UV 램프 안에 셀을 삽입시킨 후 그 위에 중립 밀도 필터(3.0)를 부착하고 높은 세기의 UV 램프를 사용하여 30 분 동안 광중합시켰다. UV가 새어나가는 것을 방지하고자 UV 램프의 주변을 알루미늄 호일로 감싸주었다. 중합이 끝나고 상기 상부 기관과 상기 하부 기관을 분리시키면, 극성인 상기 상부 기관 쪽으로 템플레이트가 남아있게 된다. PS 오팔 템플레이트를 제거하고 역오팔 구조로 제조하기 위해 클로로포름으로 24 시간 동안 예칭하였다. 예칭이 끝난 후 세척 과정을 위해 클로로포름, 아세트니트릴, 및 3차 증류수 순서대로 각각 30초씩 PET 필름을 세척한 후, 0.1 M 포타슘 포스페이트 pH 7.4 (1X) 버퍼에서 보관하였다.

[0118] 4) 제조된 역오팔 광결정 수화젤 센서의 품질 확인 및 감지 테스트

[0119] 역오팔 광결정 수화젤 센서를 최상의 상태로 제조하기 위해, 다양한 과정 변수들을 조절하여 품질을 높이고자 하였다. 품질은 역오팔 광결정 수화젤 센서 전체의 균일한 파장, 높은 반사율, 반치전폭(FWHM; full width at half maximum)을 가질수록 좋아진다. DEECA 셀은 하단이 천공되어 있기 때문에, 하단부터 자기-어셈블리가 되어 오팔 템플레이트가 하단으로 갈수록 센서 제조 시에 적색 변이되는 경향을 가진다. 먼저 DEECA 과정을 통해 오팔 템플레이트를 제조한 후, pH 감지 단량체가 첨가된 단량체 혼합물을 주입하여 pH 센서를 제조하였다.

[0120] 도 6은, 각각 반치전폭(FWHM; full width at half maximum)의 어닐링 후, 단량체 주입 후(오팔 템플레이트 + 단량체), 광중합 후(오팔 템플레이트 + 고분자), 오팔 템플레이트 + 고분자 전사 후(좌우 inversion), 역오팔 광결정 수화젤 센서(오팔 템플레이트 제거 후), pH 2 및 pH 5의 스팟(spot)을 나타낸 것이다. pH 센서의 가로로는 왼쪽, 중간, 오른쪽, 세로로는 위쪽, 중간, 아래쪽으로 구분하여 스팟을 3X3, 9 개의 스팟으로 나누었다. 왼쪽 상단부터 오른쪽 하단까지 스팟의 번호를 1부터 9까지 지정하였고, 각 스팟의 스팟을 지정하여 스팟의 파장, 반사율, FWHM을 측정하였다. 각 실험마다 여러 센서의 스팟을 측정하여 파장, 반사율, FWHM을 에러 바(error bar)로 나타내었다. 상기 에러 바를 통해 파장, 반사율, FWHM의 평균치, 표준편차를 확인할 수 있다.

[0121] 상기 역오팔 수화젤 센서의 조절 인자는 각각, 폴리스타이렌(PS) 수분산액 주입 후 건조 시 습도, 수화젤 단량체 혼합물 주입 시간, 콜로이드 조립을 위한 직접적으로 강화된 증발(DEECA; directed enhanced evaporation for colloidal assembly) 과정을 거친 셀의 하부 기관에 대한 NaOH 처리 등을 포함한다. 구체적으로, 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서의 가장 적합한 습도는 인위적으로 습도를 높이지 않은, 정상시의 온도이며, 가장 적합한 단량체 혼합물의 주입 시간은 1 시간, DEECA 과정을 거친 셀의 하부 기관에 대한 가장 적합한 NaOH 처리는 0.1 M NaOH 수용액에서 24 시간 침지하는 것이다.

[0122] 전사 과정으로 제조된 역오팔 광결정 수화젤 센서가 잘 구동되는지를 확인하기 위해, 다양한 센서들에 대한 감지 테스트를 진행하였다. 또한, 주사 전자 현미경(SEM; scanning electron microscopy)을 통해 역오팔 구조와 상기 플렉시블 필름에 잘 부착되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

[0123] pH 센서의 감지 테스트는 pH 2 포타슘 포스페이트 버퍼와 pH 7 포타슘 포스페이트 버퍼를 각각 페트리 디쉬에 담고 센서를 담갔을 때의 색과 파장, 반사율을 관찰하였다. 온도 센서의 감지 테스트는 페트리 디쉬에 물을 담고 물의 온도를 조절하여 색과 파장, 반사율을 관찰하였다.

[0124] 도 7은, 아크릴 산을 사용하여 제조한 pH 센서의 (a) pH 2 및 pH 7에서 PET 기재 상의 아크릴 산 함유 역오팔 광결정 수화젤 센서(pH 센서)의 변색 사진, (b) 반사 스펙트럼 및 (c) pH 2 및 pH 7 사이에서 반복되는 pH 변화 하에서의  $\lambda_{peak}$ 의 플롯을 나타낸 것이다. 도 7(b)를 보면 알 수 있듯이, pH 2에서는 약 550 nm의 파장에서 반사 스펙트럼이 가장 크게 나타나고, pH 7에서는 약 680 nm의 파장에서 반사 스펙트럼이 가장 크게 나타난다. 또한, 도 7(c)를 보면, pH 2 및 pH 7에 따른 상기 센서의 반복 재현성을 알 수 있다. 상기 감지 단량체인 아크릴 산을 사용하여 제조한 pH 센서는 상기 아크릴 산의 카복실기가 pH 증가에 따라 음이온화되며, 이로 인해 삼투압이 발생하여 팽윤된다. 상기 도 7(a)에서 pH에 따라 색이 변하는 이유는 아크릴 산 함유 pH 센서는 아크릴 산의 카복실기가 pH의 증가에 따라 음이온화되고, 이로 인해 삼투압이 발생하여 팽윤되기 때문이다.

[0125] 온도 센서의 감지 테스트는 페트리 디쉬에 물을 담고 물의 온도를 조절함으로써 색과 파장을 관찰하였다. 글루코오스 센서의 감지 테스트는 PBS 버퍼를 사용하여 제조한 1 mM, 4 mM 및 10 mM 글루코오스 용액을 각각 페트리 디쉬에 담고 센서를 담갔을 때의 색과 파장을 관찰하였다. 도 8(a)는, 전사 공정에 의한 N-이소프로필아크릴아미드(NIPAAm; N-isopropylacrylamide)-함유 역오팔 광결정 수화젤 센서(온도 센서)의 10°C에서 70°C까지 5°C마다 측정되는 온도 변화에 따른 구조적 색상의 변화, 도 8(b)는, PET 상의 NIPAAm 함유 상기 온도 센서의 25°C 및 50°C에서 변색 사진, 도 8(c) 및 도 8(d)는, 각각 본원의 일 실시예에 있어서, PET 상의 NIPAAm 함유 상기 온도 센서의 15°C 및 25°C에서의 반사 스펙트럼 및 15°C 및 25°C에서의 반복된 온도 변화 따른  $\lambda_{peak}$ 의 플롯을

나타낸 것이다. 도 8(d)를 보면, 15°C 및 25°C에서 상기 센서의 반복 재현성을 알 수 있다. 상기 온도 센서는 감지 단량체인 N-이소프로필아크릴아미드(NIPAAm)를 사용하여 제조하였다. 상기 온도에 따라 색이 변하는 이유는, 폴리N-이소프로필아크릴아미드(polyNIPAAm)은 물에서 섭씨 34°C에서 낮은 임계 용액 온도(LCST; lower critical solution temperature)를 나타내므로 역오팔 구조를 형성하면 온도 증가에 따라 고분자가 수축이 되어 구조색이 단파장색으로 변하기 때문이다.

[0126] 글루코오스 센서의 감지 테스트는 PBS 버퍼를 사용하여 제조된 1 mM, 4 mM, 10 mM 글루코오스 용액을 각각 페트리 디쉬에 담고 센서를 담갔을 때의 색, 파장, 반사율을 관찰하였다.

[0127] CO<sub>2</sub> 센서의 감지 테스트는 페트리 디쉬에 물을 담고 MFC 장치를 사용하여 CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 가스를 유동시킬 때의 색, 파장, 반사율을 관찰하였다.

[0129] <측정 기기 및 분석 방법>

[0130] 1) 반사 현미경을 사용한 파이버 광학 분광계(fiber optic spectrometer with a reflecting microscope)

[0131] 측정하고자 하는 샘플의 파장과 반사율은 광학 분광계(S39A, LE.AM solution) 및 파이버 광학 분광계(fiber optic spectrometer) (AvaSpec-3648, Avantes)를 사용하여 측정하였다. 오팔 템플레이트의 품질을 측정하기 위해서 유리 기판 상에 PS 수분산액을 2 방울 내지 3 방울 떨어뜨린 후 오븐에서 물을 증발시켰다. 물이 증발되면서 PS 입자들이 자기-어셈블리 되었다. 샘플을 관찰하기 전에 은거울을 사용하여 백그라운드를 잡아주었다. 그 후에 샘플을 선반에 올려 초점을 맞추었다. 그 후, AvaSpec 프로그램을 사용하여 샘플의 파장과 반사율을 그래프로 확인하였다. 상기 샘플의 파장과 반사율의 그래프는 도 1(a)에 나타내었다.

[0132] 2) 전계 방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM; field-emission scanning electron microscope)

[0133] 측정하고자 하는 샘플의 모양, 크기, 크기 분포, 구조 등을 관찰하기 위해 전계 방사형 주사 전자 현미경(SU-8010, HITACHI)을 사용하였다. 오팔 템플레이트의 경우 유리 기판 상에 PS 수분산액을 2 방울 내지 3 방울 떨어뜨린 후 오븐에서 물을 증발시켰다. 역오팔 광결정 수화젤 센서의 경우 에칭 중에 센서를 꺼내어 에칭 용액을 완전히 건조시켰다. 샘플 전 처리를 위해 오팔 템플레이트/역오팔 광결정 수화젤 센서가 붙어있는 기판을 조각낸 후, 샘플대에 탄소 테이프(carbon tape)를 부착하여 샘플을 고정시켰다. 상기 샘플의 전도성 증가를 위해 1 분 동안 Pt 코팅하였다. 상기 오팔 템플레이트는 표면 이미지를, 역오팔 광결정 수화젤 센서는 단면 이미지를 주로 관찰하였다. 상기 오팔 템플레이트의 표면 이미지는 도 1(b)에, 상기 역오팔 광결정 수화젤 센서의 단면 이미지는 도 5에 나타내었다.

[0134] 3) 질량 흐름 제어기(MFC; mass flow controller)

[0135] 질량 흐름 제어기(M3030VA, Line tech)와 MFC Readout Control Box (KRO-4000, K.M.B Tech Co.)를 사용하여 CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub> 가스의 유속과 유량을 조절하였다.

[0137] 실시예 2: 다중 센서의 제조 방법 및 실험 과정

[0138] <제조 방법>

[0139] 오팔 템플레이트에 1차 전사된 C6-글라스의 오팔 필름 상에 pH 센서용으로 설린 필름과 PET 필름을 덮은 후, pH 센서 전구체(제 1 센서 전구체)를 주입하여 광중합하였다. 상기 pH 센서를 포함한 PET를 제거하여, 온도 센서용으로 2차 전사(오팔 템플레이트 + 온도 센서)하였으며, 두번째 오팔 필름을 앞에서 제거한 PET 표면에 설린 필름 스페이서를 사용하여 부착한 후 온도 센서 전구체(제 2 센서 전구체)를 주입하여 광중합하였다. 상기 두번째 2차 전사(오팔 템플레이트 + 온도 센서)후 두 센서가 전사된 PET를 제거한 후 클로로포름에 침지하여 오팔 템플레이터를 에칭함으로써 다중 센서를 제조하였다.

[0140] 도 9는, 다중 센서 어레이(온도 센서 + pH 센서)의 제조 방법을 나타낸 모식도이다. 상기 전사 과정을 활용함으로써, 센서 전구체 주입, 광중합 및 C6-글라스 기판의 분리의 단계를 반복하여 제작할 수 있으며, 이에 따라 원하는 센서를 수득할 수 있어 고수율이 가능한 이점이 있다.

[0142] <실험 과정>

[0143] 상기 PET에 전사된 다중 센서를 pH 2로 조정된 인산 완충 용액에 침지한 후 온도를 20°C 및 70°C로 변화시켜 온도 센서 변색을 확인하였다. 도 10(a)는, pH 2의 완충 용액에서 PET의 온도(20°C 및 70°C)에 따른 다중 센서의 구조 색상 변화를 나타낸 것이다. 상기 PET의 온도가 20°C일 때 상기 센서의 색상은 적색으로 나타났으며, 상기

PET의 온도가 70℃일 때 상기 센서의 색상은 황색으로 나타냄을 알 수 있다.

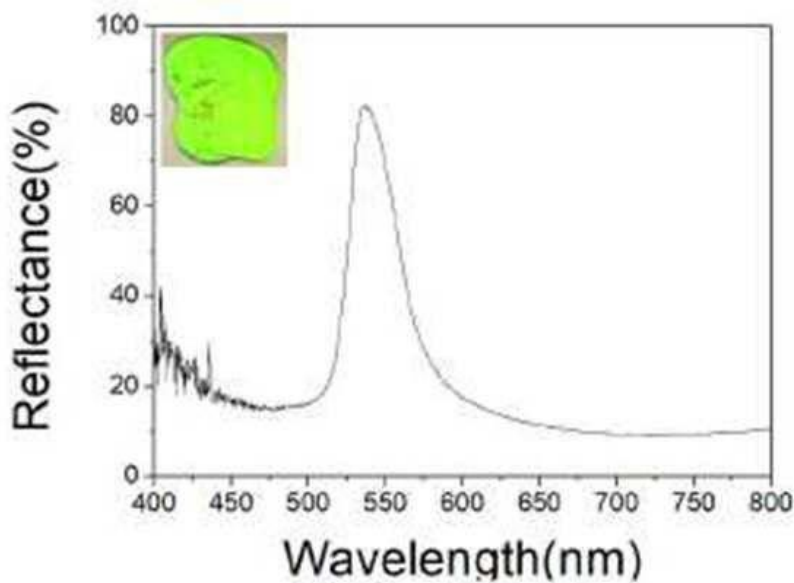
[0144] 또한, 상기 온도 센서를 pH 7의 완충 용액에 옮겨 온도 pH 센싱을 확인하였다. 도 10(b)는, PET의 온도가 20℃일 때 완충 용액의 pH(pH 2 및 pH 7)에 따른 다중 센서의 구조 색상 변화를 나타낸 것이다. 상기 pH 2의 완충 용액에서 상기 센서는 녹색으로 나타났으며, 상기 pH 7의 완충 용액에서 상기 센서는 약간의 주황색을 나타냄을 알 수 있다. 또한, 도 10(c)는 PET 상의 다중 센서를 나타낸 것이다.

[0146] 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 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 수 있다.

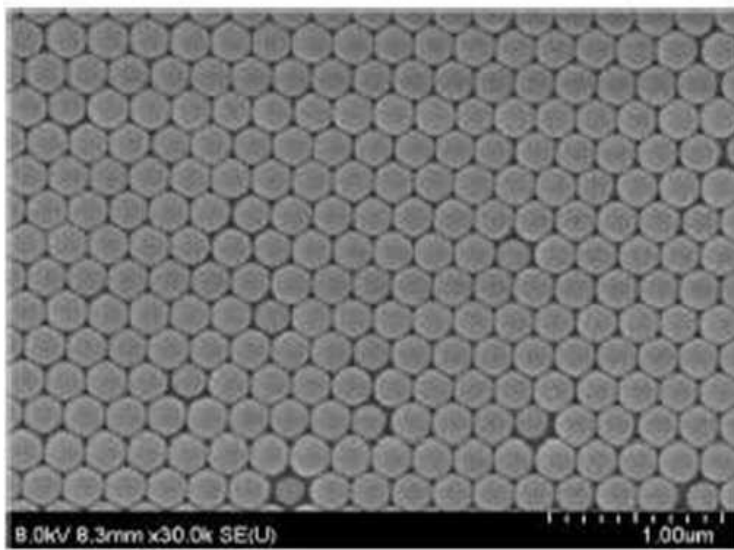
[0147] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

**도면**

**도면1a**



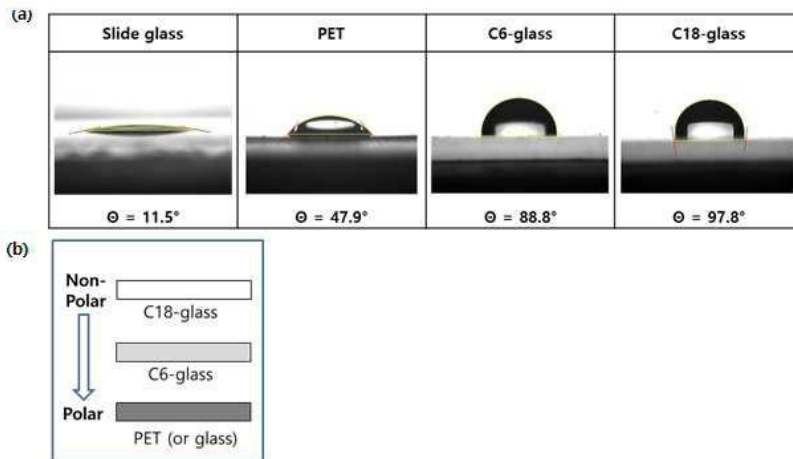
도면1b



도면2

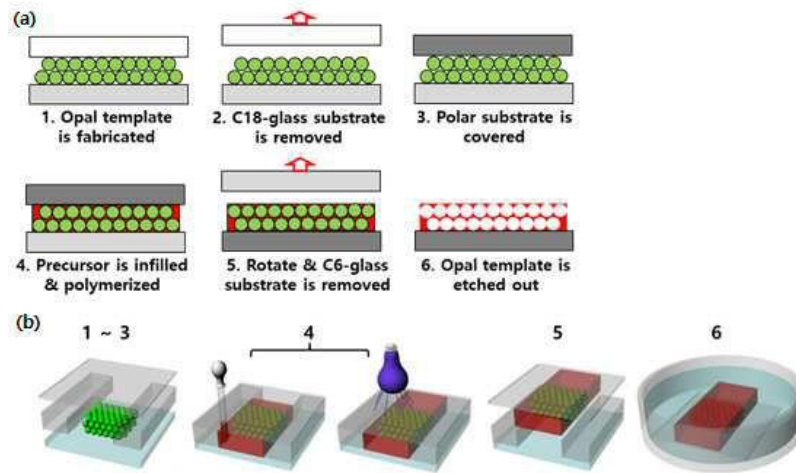


도면3

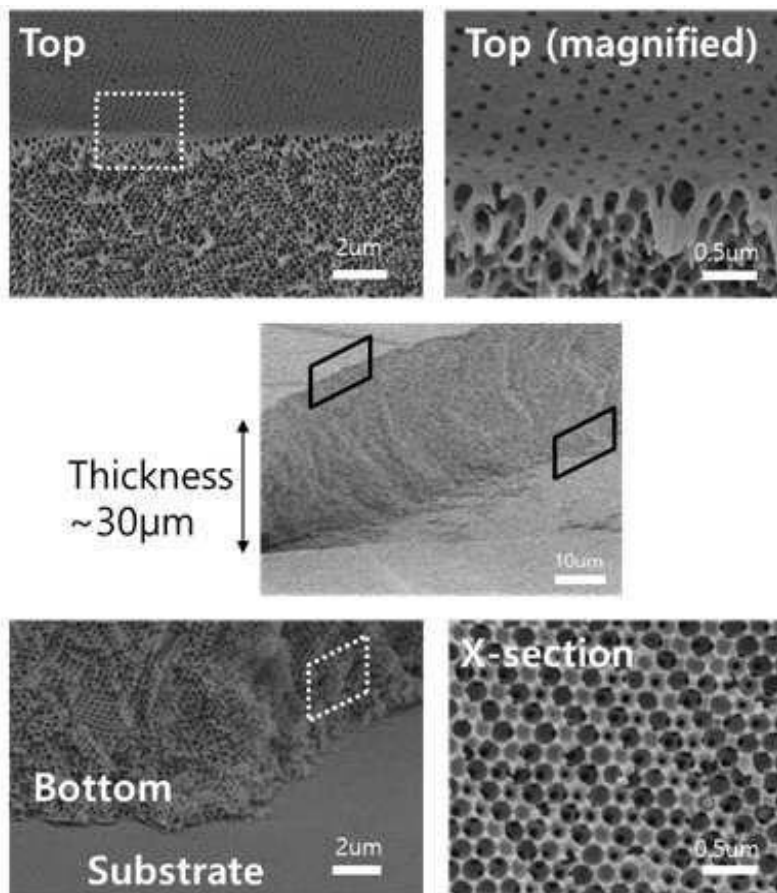




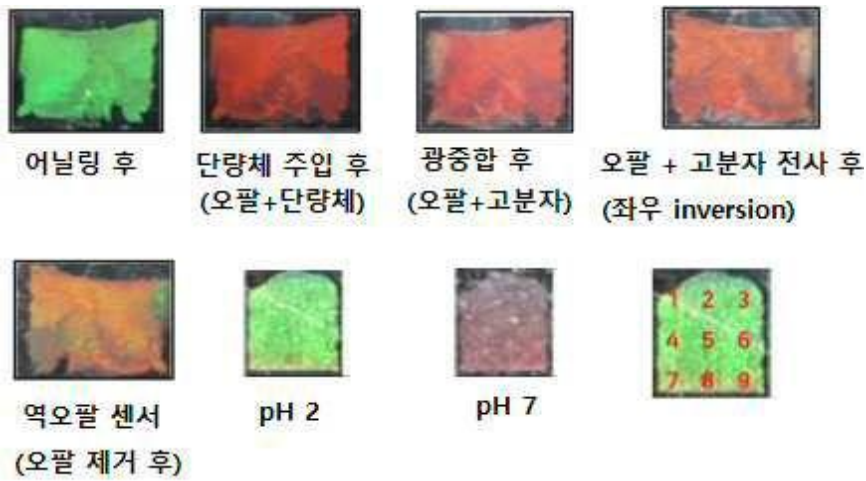
도면4



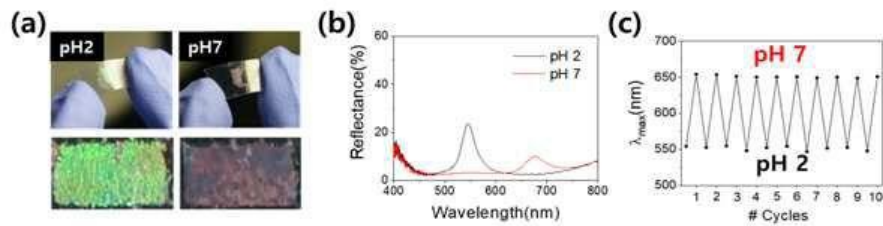
도면5



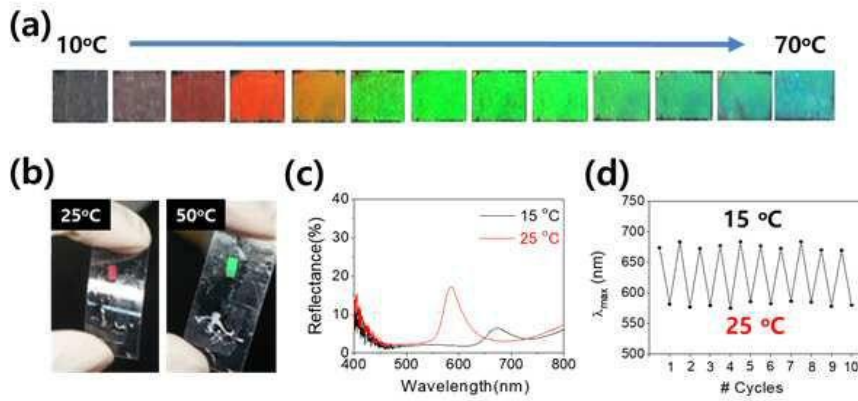
도면6



도면7

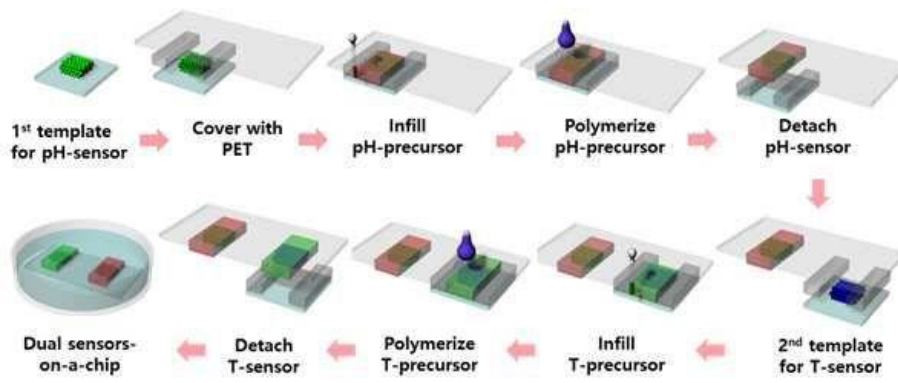


도면8





도면9



도면10

