(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년11월14일
(11) 등록번호 10-2044951
(24) 등록일자 2019년11월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 11/12 (2006.01) *G01K 1/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01K 11/12 (2013.01)
G01K 1/026 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0057096
(22) 출원일자 2018년05월18일
심사청구일자 2018년05월18일
(56) 선행기술조사문헌
JP05126651 A*
KR101650238 B1*
KR101843854 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
고현협
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
최아영
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
염정희
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
(74) 대리인
특허법인지원

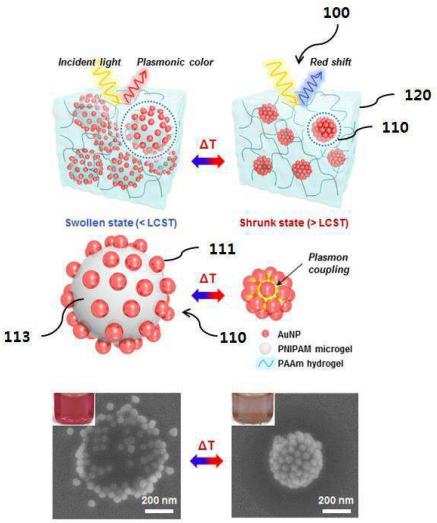
전체 청구항 수 : 총 15 항 심사관 : 홍정훈

(54) 발명의 명칭 **변색성 온도 센서 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 변색성 온도 센서에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서는 금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔을 포함한다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2015R1A2A1A10054152
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 도약연구
연구과제명 지문패턴 whisker 어레이 기반 촉각인지 인터페이스 소자 개발
기 여 율 1/1
주관기관 울산과학기술원
연구기간 2017.11.01 ~ 2018.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

금속 나노입자들이 코팅된 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔; 및

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 하이드로겔;

을 포함하고,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성하는 변색성 온도 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 금속 나노입자들은, 구연산 나트륨(sodium citrate)으로 코팅되고,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔은, 양전하를 띠는 개시제(initiator)를 포함하는,

변색성 온도 센서.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 금속 나노입자들이 분산(dispersion)된 용액과 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 분산된 용액은 교반되어 혼합되는,

변색성 온도 센서.

을 더 포함하는 변색성 온도 센서.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔은, 상기 하이드로겔의 전구체(precursor)가 용해된 용액과 혼합된 후 자외선 노출을 통해 가교 결합(crosslinking)되는,

변색성 온도 센서.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 하이드로겔은, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 상기 하이드로겔 내부에 균일하게 분포되도록 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 포함하는,

변색성 온도 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔의 외부 온도가 증가하는 경우, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 수축하여, 상기 금속 나노입자들 간 거리가 감소하고,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔의 외부 온도가 감소하는 경우, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 팽윤하여, 상기 금속 나노입자들 간 거리가 증가하는,

변색성 온도 센서.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 생성되고,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 생성된 후, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔에 첨가제가 추가되고,

상기 첨가제는, 염 및 계면활성제 중 하나를 포함하는,

변색성 온도 센서.

청구항 10

금속 나노입자들을 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔에 코팅하는 단계; 및

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 하이드로겔과 결합시키는 단계;

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성하는 변색성 온도 센서의 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 코팅하는 단계 이전에,

구연산 나트륨(sodium citrate)을 상기 금속 나노입자들에 코팅하는 단계; 및

양전하를 띠는 개시제(initiator)를 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔에 결합시키는 단계;

를 더 포함하는 변색성 온도 센서의 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 코팅하는 단계는,

상기 금속 나노입자들이 분산된 용액과 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 분산된 용액을 교반하여 혼합하는 단계;

를 포함하는 변색성 온도 센서의 제조 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 결합시키는 단계는,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 상기 하이드로겔의 전구체(precursor)가 용해된 용액과 혼합한 후 자외선 노출을 통해 가교 결합(crosslinking)시키는 단계를 포함하는,

변색성 온도 센서의 제조 방법.

청구항 15

삭제

청구항 16

제10항에 있어서,

상기 결합시키는 단계는,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 상기 하이드로겔 내부에 균일하게 분포되도록 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔을 결합시키는 단계;

를 포함하는 변색성 온도 센서의 제조 방법.

청구항 17

제10항에 있어서,

상기 코팅하는 단계 이전에,

상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 생성하는 단계; 및

상기 생성하는 단계 후, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔에 첨가제를 추가하는 단계를 더 포함하고,

상기 첨가제는, 염 및 계면활성제 중 하나를 포함하는,

변색성 온도 센서의 제조 방법.

청구항 18

금속 나노입자들이 코팅된 제1 온도 감응성 마이크로겔 및 상기 제1 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 하이드로겔을 포함하는 변색성 온도 센서;

제2 온도 감응성 마이크로겔; 및

상기 변색성 온도 센서 및 상기 제2 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 PET(polyethylene terephthalate) 필름;

을 포함하고,

상기 제1 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성하는 액츄에이터.

청구항 19

금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔;

상기 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 하이드로겔;

상기 하이드로겔의 제1 부분에 결합된 제1 폴리머 필름; 및

상기 하이드로겔의 제2 부분에 결합된 제2 폴리머 필름;

을 포함하고,

상기 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성하는 변색성 온도 센서 패치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 변색성 온도 센서에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔을 포함하는 변색성 온도 센서에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근, 온도 센서를 구비한 패치를 신체에 부착해 놓음으로써 온도를 지속적으로 측정하는 방법이 개발되고 있다. 그러나 이와 같은 패치는 온도 센서를 작동시키기 위한 전원이 구비되어야 하기 때문에, 무게감이 있어 착용감이 좋지 않고, 배터리가 수은이나 니켈로 이루어지기 때문에 장시간 착용 시 신체에 좋지 않은 영향을 끼칠 수 있는 문제가 있다.

[0004] 이러한 문제를 해결하기 위해서는 온도 센서의 소형화, 경량화, 무전력 구동화가 필수적이다. 또한, 소재적인 관점에서 접근할 때, 다양한 방향으로 자유자재로 휘어지거나 늘어나며, 이러한 상황에서도 성능이 떨어지지 않는 온도 센서를 구현할 수 있는 기술 개발이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) [특허문헌 1] 한국공개특허 제10-2016-0149944호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로, 금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔을 포함하는 변색성 온도 센서를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0008] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 목적들을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서는 금속 나노입자들이 코팅된

온도 감응성 마이크로겔;을 포함할 수 있다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 금속 나노입자들은 구연산 나트륨(sodium citrate)으로 코팅되고, 상기 온도 감응성 마이크로겔은, 양전하를 띠는 개시제(initiator)를 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 금속 나노입자들이 분산(dispersion)된 용액과 상기 온도 감응성 마이크로겔이 분산된 용액은 교반되어 혼합될 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 금속 나노입자들이 코팅된 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 하이드로겔;을 더 포함할 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔은, 상기 하이드로겔의 전구체(precursor)가 용해된 용액과 혼합된 후 자외선 노출을 통해 가교 결합(crosslinking)될 수 있다.

[0015] 일 실시예에서, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성할 수 있다.

[0016] 일 실시예에서, 상기 하이드로겔은, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 상기 하이드로겔 내부에 균일하게 분포되도록 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 포함할 수 있다.

[0017] 일 실시예에서, 상기 온도 감응성 마이크로겔의 외부 온도가 증가하는 경우, 상기 온도 감응성 마이크로겔이 수축하여, 상기 금속 나노입자들 간 거리가 감소하고, 상기 온도 감응성 마이크로겔의 외부 온도가 감소하는 경우, 상기 온도 감응성 마이크로겔이 팽윤하여, 상기 금속 나노입자들 간 거리가 증가할 수 있다.

[0018] 일 실시예에서, 상기 온도 감응성 마이크로겔이 생성되고, 상기 온도 감응성 마이크로겔이 생성된 후, 상기 온도 감응성 마이크로겔에 첨가제가 추가되고, 상기 첨가제는, 염 및 계면활성제 중 하나를 포함할 수 있다.

[0019] 일 실시예에서, 변색성 온도 센서의 제조 방법은, 금속 나노입자들을 온도 감응성 마이크로겔에 코팅하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0020] 일 실시예에서, 변색성 온도 센서의 제조 방법은, 상기 코팅하는 단계 이전에, 구연산 나트륨(sodium citrate)을 상기 금속 나노입자들에 코팅하는 단계; 및 양전하를 띠는 개시제(initiator)를 상기 온도 감응성 마이크로겔에 결합시키는 단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0021] 일 실시예에서, 상기 코팅하는 단계는, 상기 금속 나노입자들이 분산된 용액과 상기 온도 감응성 마이크로겔이 분산된 용액을 혼합하여 교반하는 단계; 를 포함할 수 있다.

[0022] 일 실시예에서, 변색성 온도 센서의 제조 방법은, 상기 코팅하는 단계 이후에, 상기 금속 나노입자들이 코팅된 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 하이드로겔과 결합시키는 단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0023] 일 실시예에서, 상기 결합시키는 단계는, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 상기 하이드로겔의 전구체(precursor)가 용해된 용액과 혼합한 후 자외선 노출을 통해 가교 결합(crosslinking)시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시예에서, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성할 수 있다.

[0025] 일 실시예에서, 상기 결합시키는 단계는, 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔이 상기 하이드로겔 내부에 균일하게 분포되도록 상기 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 상기 하이드로겔을 결합시키는 단계;를 포함할 수 있다.

[0026] 일 실시예에서, 변색성 온도 센서의 제조 방법은, 상기 코팅하는 단계 이전에, 상기 온도 감응성 마이크로겔을 생성하는 단계; 및 상기 생성하는 단계 후, 상기 온도 감응성 마이크로겔에 첨가제를 추가하는 단계를 더 포함하고, 상기 첨가제는, 염 및 계면활성제 중 하나를 포함할 수 있다.

[0027] 일 실시예에서, 액츄에이터는, 금속 나노입자들이 코팅된 제1 온도 감응성 마이크로겔을 포함하는 변색성 온도 센서; 제2 온도 감응성 마이크로겔; 및 상기 변색성 온도 센서 및 상기 제2 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 PET(polyethylene terephthalate) 필름;을 포함할 수 있다.

[0028] 일 실시예에서, 변색성 온도 센서 패치는, 금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔; 상기 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 하이드로겔; 상기 하이드로겔의 제1 부분에 결합된 제1 폴리머 필름; 및 상기 하이드로

겔의 제2 부분에 결합된 제2 폴리머 필름;을 포함할 수 있다.

[0030] 상기한 목적들을 달성하기 위한 구체적인 사항들은 첨부된 도면과 함께 상세하게 후술될 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0031] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라, 서로 다른 다양한 형태로 구성될 수 있으며, 본 발명의 개시가 완전하도록 하고 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자(이하, "통상의 기술자")에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해서 제공되는 것이다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔을 포함하는 변색성 온도 센서를 통해, 작동을 위한 외부 전력을 요구하지 않고, 넓은 변색 범위의 온도 변화를 높은 민감도로 빠른 반응 시간 내에 감지하고, 뛰어난 반복성을 달성할 수 있으며, 웨어러블 기기에 활용하기 위한 유연성을 충족할 수 있다.

[0034] 본 발명의 효과들은 상술된 효과들로 제한되지 않으며, 본 발명의 기술적 특징들에 의하여 기대되는 잠정적인 효과들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 온도 변화에 따른 플라즈몬 마이크로겔의 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈몬 마이크로겔의 결합 구조를 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 온도 변화에 따른 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서의 흡광도 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입의 변색성 온도 센서 패치를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 성능 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 RGB 세기 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 다른 RGB 세기 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 RGB의 R 값에 대한 선형 피팅(linear fitting) 그래프를 도시한다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입의 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 필름 형태로 제작된 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 듀얼-모드 액츄에이터를 도시한 도면이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서의 제조 방법의 흐름도이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서의 스트레칭 테스트(stretching test)를 도시한다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 테스트에 따른 변색성 온도 센서의 RGB의 R 값에 대한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고, 여러 가지 실시예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 이를 상세히 설명하고자 한다.

[0038] 청구범위에 개시된 발명의 다양한 특징들은 도면 및 상세한 설명을 고려하여 더 잘 이해될 수 있을 것이다. 명세서에 개시된 장치, 방법, 제법 및 다양한 실시예들은 예시를 위해서 제공되는 것이다. 개시된 구조 및 기능상의 특징들은 통상의 기술자로 하여금 다양한 실시예들을 구체적으로 실시할 수 있도록 하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 개시된 용어 및 문장들은 개시된 발명의 다양한 특징들을 이해하기 쉽게

설명하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다.

[0039] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.

[0040] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 금속 나노입자들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔을 포함하는 변색성 온도 센서를 설명한다.

[0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 온도 변화에 따른 플라즈몬 마이크로겔의 구조를 도시한 도면이다.

[0043] 도 1을 참고하면, 변색성 온도 센서(100)는 플라즈몬 마이크로겔(110)과 하이드로겔(120)을 포함한다.

[0044] 플라즈몬 마이크로겔(110)은 금속 나노입자(111)들이 코팅된 온도 감응성 마이크로겔(113)을 포함한다. 예를 들어, 금속 나노입자(111)는 금 또는 은과 같은 귀금속 물질을 포함할 수 있다.

[0045] 이 경우, 온도 감응성 마이크로겔(113)은 온도 감응성 마이크로겔(113)의 외부 온도 변화에 따라 팽윤(swollen) 또는 수축(shrunk)하게 된다. 예를 들어, 온도 감응성 마이크로겔(113)은 PNIPAM(poly N isopropylacrylamide) 마이크로겔, PVC(Poly(N-vinyl caprolactam)) 마이크로겔 또는 PEtOx(Poly(N-ethyl oxazoline)) 마이크로겔을 포함할 수 있다.

[0046] 온도 감응성 마이크로겔(113)은 하한 임계 용액 온도(lower critical solution temperature, LCST) 이하에서 팽윤되는 구조를 가지며, LCST 이상에서는 수축되는 구조를 갖는다. 즉, 온도 감응성 마이크로겔(113)은 LCST 이하에서는 팽윤 상태로 구성되고, LCST 이상에서는 수축 상태로 구성된다. LCST는 온도 감응성 마이크로겔(113)의 구조 변화가 나타나는 전이 온도(transition temperature)를 의미할 수 있다.

[0047] 이는, LCST 이하에서는, 온도 감응성 마이크로겔(113)이 하이드로겔(120)에 포함된 물 분자와 온도 감응성 마이크로겔(113) 간 수소 결합에 의해 팽윤되지만, LCST 이상에서는, 소수성 상호작용이 증가하여 수축하기 때문이다.

[0048] 이 경우, LCST 이하에서 온도 감응성 마이크로겔(113)이 팽윤함에 따라 금속 나노입자(111)들 간 간격이 넓어지는데, 이로 인해, 금속 나노입자(111)들에 입사한 입사광은 붉은색 빛으로 반사될 수 있다. 반면, LCST 이상에서 온도 감응성 마이크로겔(113)이 수축함에 따라 금속 나노입자(111)들 간 간격이 좁아지는데, 이로 인해, 금속 나노입자(111)들에 입사한 입사광은 적색 이동(red shift)되어 회색빛을 띠는 보라색 빛으로 반사될 수 있다. 여기서, 금속 나노입자(111)의 자유 전자들이 입사광에 의해 집단 진동(collective oscilation)하는 것은 플라즈몬 공명(plasmon resonance)이라고 지칭될 수 있으며, 이 경우, 두 개 이상의 금속 나노입자들이 일정 거리(예: 10nm) 이하로 떨어져서 위치하는 경우, 플라즈몬 공명에 의한 빛의 파장대가 적색 이동되는 것은 플라즈몬 커플링(plasmon coupling) 현상이라고 지칭될 수 있다. 즉, 금속 나노입자(111)들 간 거리에 기반하는 플라즈몬 커플링 현상에 의해 다양한 색의 빛이 반사될 수 있다.

[0049] 일 실시예에서, 본 발명의 변색성 온도 센서(100)의 플라즈몬 마이크로겔(110)의 개수, 즉, 밀도가 증가할수록 변색성 온도 센서(100)의 색이 더 선명해질 수 있다. 플라즈몬 마이크로겔(110)이 임계값 이상의 밀도로 존재하는 경우, 하나의 플라즈몬 마이크로겔(110)의 금속 나노입자(111)들 간 발생하는 플라즈몬 커플링 현상뿐만 아니라, 인접한 플라즈몬 마이크로겔(110)들 각각의 금속 나노입자(111)들 간 발생하는 플라즈몬 커플링 현상까지 추가되어 보다 많은 색 변화가 발생할 수 있다.

[0050] 또한, 플라즈몬 마이크로겔(110)은 하이드로겔(120)에 결합되어 있다. 예를 들어, 하이드로겔(120)은 변색성 온도 센서(100)의 작동 온도 범위 내에서 온도 변화에 안정한 매트릭스(matrix)로 사용되며, PAAm(polyacrylamide) 하이드로겔, 젤라틴(gelatin) 또는 아가로스 겔(agarose gel)을 포함할 수 있다.

[0051] 일 실시예에서, 플라즈몬 마이크로겔(110)은 하이드로겔(120)과 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성할 수 있다. 일 실시예에서, 플라즈몬 마이크로겔(110)은 하이드로겔(120)의 전구체(precursor)가 용해된 용액과 혼합된 후 자외선 노출을 통해 가교 결합(crosslinking)되어 있을 수 있다.

[0052] 이 경우, 하이드로겔(120)은 겔 물질로서 형태가 유지될 수 있기 때문에, 플라즈몬 마이크로겔(110)들이 하이드로겔(120) 내부에 균일하게(즉, 동일한 밀도로) 분포되어 있을 수 있어, 변색성 온도 센서(100)의 모든 위치에서의 균등한 색 조절이 용이하다.

[0053] 반면, 종래의 경우, 온도 감응성 분자가 코팅된 금속 나노입자들이 물이 든 용기에 첨가되어 용액 상태로 있는데, 온도 감응성 분자의 외부 온도 변화에 따라 온도 감응성 분자가 수축하는 경우, 온도 감응성 분자가 코팅된

금속 나노입자들이 물에 가라앉게 된다. 따라서, 종래의 경우, 가라앉은 금속 나노입자들이 물이 든 용기의 특정 부분에 뭉치게 되어 온도 센서의 원하는 위치에서의 색상 조절이 용이하지 않다. 또한, 종래의 경우, 온도 감응성 분자가 코팅된 금속 나노입자들이 물이 든 용기에 첨가되어 용액 상태로 있기 때문에, 웨어러블 센서에 적합하지 않다.

[0055] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈몬 마이크로겔(110)의 결합 구조를 도시한 도면이다.

[0056] 도 2의 (a)를 참고하면, 플라즈몬 마이크로겔(110)의 금속 나노입자(111)들은 안정화제(stabilizing agent)인 구연산 나트륨(sodium citrate)으로 코팅되어 음전하를 띨 수 있다. 일 실시예에서, 금속 나노입자(111)들의 전구체와 구연산 나트륨은 물에 첨가되어 교반(stir)될 수 있다.

[0057] 도 2의 (b)를 참고하면, 플라즈몬 마이크로겔(110)의 온도 감응성 마이크로겔(113)은 2-2'-Azobis(2-methylpropionamidine)와 같은 양전하를 띠는 개시제(initiator)를 포함하여 양전하를 띨 수 있다. 일 실시예에서, 양전하를 띠는 개시제의 라디칼(radical)이 플라즈몬 마이크로겔(110)의 온도 감응성 마이크로겔(113)과 결합하여, 마이크로겔(113)의 라디칼이 생성되어, 마이크로겔(113)은 양전하를 띨 수 있다.

[0058] 이 경우, 음전하를 띠는 금속 나노입자(111)들과 양전하를 띠는 온도 감응성 마이크로겔(113) 간 정전기적 인력을 이용하여, 금속 나노입자(111)들은 온도 감응성 마이크로겔(113)에 코팅될 수 있다. 일 실시예에서, 금속 나노입자(111)들이 분산(dispersion)된 용액과 온도 감응성 마이크로겔(113)이 겔 상태의 입자로 분산된 용액은 교반되어 혼합될 수 있고, 이를 통해, 금속 나노입자(111)들은 온도 감응성 마이크로겔(113)에 코팅될 수 있다. 여기서, 본 발명의 플라즈몬 마이크로겔(110)의 경우, 금속 나노입자(111)들이 온도 감응성 마이크로겔(113)에 코팅되어 있기 때문에, 온도 감응성 마이크로겔(113) 하나 당 금속 나노입자(111)의 개수를 비슷하게 설계하여 변색성 온도 센서(100)의 색 조절이 용이하다. 예를 들어, 임계 개수까지는 금속 나노입자(111)의 개수가 증가할수록 변색성 온도 센서(100)의 색이 보다 선명해질 수 있다. 예를 들어, 상기 임계 개수는 온도 감응성 마이크로겔(113)에 포함된 금속 나노입자(111)들 간 거리가 10nm일 때의 금속 나노입자(111)의 개수를 의미할 수 있다. 일 실시예에서, 금속 나노입자(111)들은 온도 감응성 마이크로겔(113)에 균일하게 분포되어 있을 수 있다.

[0059] 반면, 종래의 경우, 하나의 금속 나노입자에 온도 감응성 분자가 결합되어 있을 수 있다. 구체적으로, 상기 온도 감응성 분자는 마이크로겔 형태가 아니라 폴리머 분자 형태이며, 폴리머 분자 끝이 금속 나노입자에 화학적으로 결합되어 있을 수 있다. 이와 같이, 하나의 금속 나노입자에 온도 감응성 분자가 결합되어 있는 경우, 빛 반사에 기여하는 금속 나노입자의 개수를 알맞게 설계하기 용이하지 않기 때문에, 금속 나노입자로부터 반사되는 빛의 색 조절이 쉽지 않다.

[0061] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 온도 변화에 따른 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

[0062] 도 3의 (a)를 참고하면, 변색성 온도 센서(100)의 제1 부분(예: 일면)과 제2 부분(예: 타면)은 각각 투명한 재질의 폴리머 필름(300)과 결합되어 있을 수 있다. 이 경우, 폴리머 필름(300)은 변색성 온도 센서(100)를 감싸는 필름으로서 PDMS(polydimethylsiloxane) 필름을 포함할 수 있다.

[0063] 도 3의 (b)를 참고하면, 하이드로겔(120) 및 폴리머 필름(300)의 유연성으로 인해 변색성 온도 센서(100)는 유연성을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 변색성 온도 센서(100)의 온도를 24도에서 50도로 변화시켰을 때, 변색성 온도 센서(100)의 색상이 붉은색에서 회색빛을 띠는 보라색으로 변하는 것을 확인할 수 있다.

[0064] 이 경우, 도 4의 (a) 및 (b)를 참고하면, UV-VIS(visible spectroscopy) 그래프에서 파장에 따른 흡광도(extinction)를 확인할 수 있다. 예를 들어, 24도에서 50도로 온도 변화를 주었을 때, 흡광도 피크(peak)에 해당하는 파장이 545nm에서 721nm로 변화하는 것을 확인할 수 있으며, 이를 10회 반복 실험하여도 거의 일치하는 그래프를 확인, 즉, 변색성 온도 센서(100)의 성능이 유지됨을 확인할 수 있다.

[0065] 여기서, 온도 감응성 마이크로겔(113)이 24도와 같은 저온에서 팽윤 상태에 있는 경우의 흡광도 피크를 '개별(individual) 흡광도 피크'로 지칭하고, 50도와 같은 고온에서 수축 상태에 있는 경우의 흡광도 피크를 '결합(coupling) 흡광도 피크'로 지칭할 수 있다.

[0067] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입의 변색성 온도 센서 패치를 도시한 도면이다.

[0068] 도 5를 참고하면, 다수의 변색성 온도 센서들(100-1, 100-2, 100-3, 100-4, 100-5)을 이용하여 어레이 타입의 변색성 온도 센서 패치(500)가 설계될 수 있다. 이 경우, 다수의 변색성 온도 센서들(100-1, 100-2, 100-3, 100-4, 100-5) 각각의 온도 감응성 마이크로겔에 염, 계면활성제, 또는 단량체(monomer)와 같은 첨가제가 추가되어 전이 온도가 조절될 수 있다. 일 실시예에서, 단량체는 온도 감응성 마이크로겔의 생성 시에 온도 감응성

단량체에 공중합(copolymerization)되어, 전이 온도가 조절될 수 있다. 다른 실시예에서, 염 또는 계면활성제는 온도 감응성 마이크로겔이 생성된 후 첨가하기만 하면 되기 때문에, 간단한 절차로 전이 온도가 조절될 수 있다.

[0069] 즉, 첨가제의 종류에 따라 다수의 변색성 온도 센서들(100-1, 100-2, 100-3, 100-4, 100-5) 각각에 대한 LCST는 상이할 수 있으며, 예를 들어, 변색성 온도 센서(100-5)의 LCST는 변색성 온도 센서(100-1)의 LCST보다 높을 수 있으며, 이에 따라, 동일한 온도에서, 변색성 온도 센서(100-5)에서 반사된 빛은 붉은색이고, 변색성 온도 센서(100-1)에서 반사된 빛은 회색빛을 띠는 보라색일 수 있다.

[0070] 일 실시예에서, 어레이 타입의 변색성 온도 센서 패치(500)가 사람 피부에 부착된 경우, 첨가제의 종류에 따라 서로 다른 색을 띠는 다수의 변색성 온도 센서들(100-1, 100-2, 100-3, 100-4, 100-5)을 확인할 수 있다.

[0072] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서(100)의 성능 그래프이다.

[0073] 도 6의 (a)를 참고하면, 온도 감응성 마이크로겔에 첨가제로 NaCl 또는 SDS(sodium dodecyl sulfate)가 추가되는 경우, 상이한 전이 온도를 확인할 수 있다. 예를 들어, 0.2M NaCl이 첨가된 온도 감응성 마이크로겔(이하, N2로 지칭함), 0.1M NaCl이 첨가된 온도 감응성 마이크로겔(이하, N1로 지칭함), 첨가제가 추가되지 않은 온도 감응성 마이크로겔(이하, Ref로 지칭함), 1mM SDS가 첨가된 온도 감응성 마이크로겔(이하, S1으로 지칭함) 및 2mM SDS가 첨가된 온도 감응성 마이크로겔(이하, S2로 지칭함)은 각각 상이한 전이 온도를 갖는다.

[0074] 도 6의 (b) 및 (c)를 참고하면, 금속 나노입자들이 코팅된 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 각 변색성 온도 센서는 24도에서는 비슷한 흡광도 피크를 갖지만, 50도에서는 서로 다른 흡광도 피크를 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0076] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

[0077] 도 7의 (a)를 참고하면, 금속 나노입자들이 코팅된 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 변색성 온도 센서들을 폴리머 필름 사이에 끼워 어레이 형태의 변색성 온도 센서 패치를 설계할 수 있다.

[0078] 이 경우, 도 7의 (b)를 참고하면, 설계된 어레이 형태의 변색성 온도 센서 패치를 온도조절 플레이트 위에 붙인 상태로, 온도를 1도씩 올려 그에 따른 색상 변화를 확인할 수 있다. 예를 들어, N2의 전이 온도가 S2의 전이 온도보다 낮기 때문에, 온도가 24도에서 45도로 올라감에 따라 N2의 색상이 S2에 비해 보다 회색으로 변함을 확인할 수 있다.

[0080] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 RGB 세기 그래프이다.

[0081] 도 8의 (a)를 참고하면, 금속 나노입자들이 코팅된 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 변색성 온도 센서들의 색상 변화를 RGB 값으로 분석하였을 때, 모든 변색성 온도 센서들에 대하여, 상온(24도)에서 R 값이 가장 높은데, 온도가 올라감(예: 1도씩 증가)에 따라 R 값과 B 값이 비슷해지는 경향을 확인할 수 있다. 이 경우, N2를 포함하는 변색성 온도 센서에서 S2를 포함하는 변색성 온도 센서까지 비교하였을 때, 전이 온도가 점점 증가하며, R 값과 B 값이 비슷해지는 온도 또한 30도에서 40도로 증가함을 확인할 수 있다.

[0082] 도 8의 (b)를 참고하면, 금속 나노입자들이 코팅된 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 변색성 온도 센서들을 분광복사기(spectroradiometer)로 측정하여 표현된 색 공간 그래프를 확인할 수 있다. 구체적으로, 온도가 증가함에 따라, 붉은색 영역에서 보라색 및 푸른색 영역으로 피크의 위치가 변하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 도 8의 (b)에서의 샘플 별로 위치가 크게 변화하는 온도 구간이 도 8의 (a)의 RGB 세기 그래프에서의 온도 구간과 일치함을 확인할 수 있다.

[0084] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 다른 RGB 세기 그래프이다.

[0085] 도 9의 (a) 내지 (e)를 참고하면, 금속 나노입자들이 코팅된 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 변색성 온도 센서들의 색상 변화를 RGB 값으로 분석하였을 때, 모든 변색성 온도 센서들에 대하여 상온(24도)에서 R 값이 가장 높음을 확인할 수 있다. 이 경우, 샘플 S1을 포함하는 변색성 온도 센서의 외부 온도가 올라감(예: 0.2도씩 증가)에 따라 가장 큰 R 값의 변화를 확인할 수 있다.

[0087] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 첨가제가 추가된 변색성 온도 센서의 RGB의 R 값에 대한 선형 피팅(linear fitting) 그래프를 도시한다.

[0088] 도 10의 (a)를 참고하면, 샘플 S1을 포함하는 변색성 온도 센서의 R 값을 선형 피팅(linear fitting)하였을 때,

샘플 S1을 포함하는 변색성 온도 센서의 외부 온도가 올라가는 경우(예: 0.2도씩 증가)와 내려가는 경우(예: 0.2도씩 감소) 모두 R^2 값이 0.99로 선형 피팅에 대하여 높은 정확도를 가짐을 확인할 수 있다. 이 경우, 상기 외부 온도가 올라가는 경우의 R 값의 변화량은 -8.24° C^{-1}이고, 상기 외부 온도가 내려가는 경우의 R 값의 변화량은 8.25° C^{-1}일 수 있다. 여기서, 외부 온도의 변화(예: 1도)에 따른 R 값의 변화량은 변색성 온도 센서의 민감도(sensitivity)를 의미할 수 있다.

[0089] 도 10의 (b)를 참고하면, 샘플 S2를 포함하는 변색성 온도 센서의 R 값을 선형 피팅하였을 때, 샘플 S2를 포함하는 변색성 온도 센서의 외부 온도가 올라가는 경우(예: 0.2도씩 증가) R^2 값이 0.99이고, 외부 온도가 내려가는 경우(예: 0.2도씩 감소) R^2 값이 0.97로 선형 피팅에 대하여 높은 정확도를 가짐을 확인할 수 있다. 이 경우, 상기 외부 온도가 올라가는 경우의 R 값의 변화량은 -8.76° C^{-1}이고, 상기 외부 온도가 내려가는 경우의 R 값의 변화량은 7.67° C^{-1}일 수 있다.

[0091] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입의 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

[0092] 도 11의 (a)를 참고하면, 금속 나노입자들이 코팅된 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 변색성 온도 센서를 폴리머 필름 사이에 끼워 어레이 형태의 변색성 온도 센서 패치를 설계할 수 있다. 이 경우, 설계된 어레이 형태의 변색성 온도 센서 패치를 피부 위에 붙인 상태에서, 피부 온도에 따른 온도 센서 패치의 색상을 확인할 수 있다. 예를 들어, N2의 전이 온도가 S2의 전이 온도보다 낮기 때문에, 피부의 온도가 35도(T_{skin} = 35.0도)인 경우, N2의 색상은 회색이고, S2의 색상은 붉은색임을 확인할 수 있다.

[0093] 도 11의 (b)를 참고하면, 설계된 어레이 형태의 변색성 온도 센서 패치를 물이 담긴 비커 위에 붙인 상태에서, 비커 표면의 온도에 따른 온도 센서 패치의 색상을 확인할 수 있다. 예를 들어, N2의 전이 온도가 S2의 전이 온도보다 낮기 때문에, 비커 표면의 온도가 29도(T_{beaker} = 29.0도)인 경우, N2의 색상은 회색이고, S2의 색상은 붉은색임을 확인할 수 있다.

[0094] 도 11의 (c)를 참고하면, 피부를 세척하여 피부의 온도가 34.1도(T_{skin} = 34.1도)에서 21.6도(T_{skin} = 21.6도)로 떨어진 경우, 샘플 N2, N1, Ref, S1 및 S2 각각을 포함하는 변색성 온도 센서들의 색이 전체적으로 붉은색으로 변화함을 확인할 수 있다.

[0096] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 필름 형태로 제작된 변색성 온도 센서의 색 변화를 도시한 도면이다.

[0097] 도 12의 (a)를 참고하면, 변색성 온도 센서는 보다 큰 필름 형태로 제작될 수 있다. 예를 들어, 변색성 온도 센서는 10x4cm^2 크기의 필름 형태로 제작될 수 있다. 이 경우, 문자 형태의 추를 가열하여 필름 형태의 변색성 온도 센서에 접촉시키면, 추의 문자 형태 그대로 필름의 색 변화를 확인할 수 있다.

[0098] 도 12의 (b)를 참고하면, 변색성 온도 센서는 얇은 필름 형태로 제작될 수 있다. 예를 들어, 변색성 온도 센서는 500㎛ 두께의 필름 형태로 제작될 수 있다. 이 경우, 다양한 문양 형태의 온도 자극에 반응하여, 수 초 내로 문양 형태 그대로 필름의 색 변화를 확인할 수 있다. 예를 들어, 원형 및 사각형의 온도 자극(60도)에 따라, 5초 이내로 해당 온도 자극 형태 그대로 필름의 색이 붉은색에서 회색으로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

[0100] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 액츄에이터를 도시한 도면이다.

[0101] 도 13을 참고하면, 온도 감응성 마이크로겔에 첨가제가 추가되어 전이 온도가 조절될 수 있다. 일 실시예에서, 필름 형태의 온도 감응성 마이크로겔과 결합된 하이드로겔은 PET(polyethylene terephthalate) 필름(1305)에 부착되어 액츄에이터(1303)로서 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 사람 손 모양의 PET 필름(1305)의 손가락 관절 부분에는 액츄에이터(1303)를 부착하고, 손톱 부분에는 변색성 온도 센서(1301)를 부착하여 변색성 온도 센서(1301)의 색 변화로 액츄에이터(1303)의 반응 온도를 확인할 수 있는 액츄에이터가 제작될 수 있다. 이 경우, 액츄에이터(1303)의 양 끝은 양면테이프에 의해 PET 필름(1305)에 고정될 수 있다.

[0102] 각 손가락의 액츄에이터(1303)와 변색성 온도 센서(1301)는 유사한 전이 온도를 가지므로, 외부 온도를 22도에서 45도까지 증가시켰을 때, 전이 온도에 따라 집게손가락부터 새끼손가락까지 차례로 굽힘과 변색 현상이 같은 온도에서 일어남을 확인할 수 있다. 이후, 외부 온도가 다시 22도로 감소됨에 따라 굽혀진 액츄에이터(1303)는 다시 원래대로 펴지고 변색된 온도 센서(1301)의 색도 원래대로 회복됨을 확인할 수 있다.

[0104] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서의 제조 방법의 흐름도이다.

[0105] 도 14를 참고하면, S1401 단계는, 금속 나노입자들을 온도 감응성 마이크로겔에 코팅하는 단계이다. 일 실시예에서, 금속 나노입자들은, 구연산 나트륨으로 코팅될 수 있다. 온도 감응성 마이크로겔은, 양전하를 띠는 개시제를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 금속 나노입자들은, 음전하를 띠는 금속 나노입자들과 양전하는 띠는 온도 감응성 마이크로겔 간 정전기적 인력에 의해 온도 감응성 마이크로겔에 코팅될 수 있다. 일 실시예에서, 온도 감응성 마이크로겔의 외부 온도가 증가하는 경우, 온도 감응성 마이크로겔이 수축함에 따라, 금속 나노입자들 간 거리가 감소할 수 있다. 반면, 온도 감응성 마이크로겔의 외부 온도가 증가하는 경우, 온도 감응성 마이크로겔이 팽윤함에 따라, 금속 나노입자들 간 거리가 증가할 수 있다. 일 실시예에서, 온도 감응성 마이크로겔이 생성된 후, 온도 감응성 마이크로겔에, 첨가제가 추가될 수 있다.

[0106] S1403 단계는, 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔을 하이드로겔에 결합하는 단계이다. 일 실시예에서, 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔은, 하이드로겔의 전구체가 용해된 용액과 혼합된 후 자외선 노출을 통해 가교 결합될 수 있다. 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔과 하이드로겔은, 수소 결합(hydrogen bonding)을 형성할 수 있다. 일 실시예에서, 적어도 하나의 온도 감응성 마이크로겔은 하이드로겔 내부에 균일하게 분포되어 있을 수 있다.

[0107] 일 실시예에서, 도 14의 각 단계는 순서에 관계없이 또는 동시에 수행될 수 있으며, 도 14의 일부 단계는 생략될 수 있다.

[0109] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 변색성 온도 센서의 스트레칭 테스트(stretching test)를 도시한다.

[0110] 도 15의 (a)를 참고하면, 변색성 온도 센서(1501)는 특정 부분(예:가운데 부분)만 가열되어 변색성 온도 센서(1501)의 특정 부분은 회색빛을 띠는 보라색을 띠고, 가열되지 않은 부분은 붉은색을 띨 수 있다. 이 경우, 변색성 온도 센서(1501)는 탄성중합체(elastomer)인 폴리머 필름(1503)(예: PDMS)에 의해 감싸질 수 있으며, 변색성 온도 센서(1501)와 폴리머 필름(1503)은 변색성 온도 센서(1501)와 폴리머 필름(1503)이 접촉하는 부분에서의 화학결합에 의해 네트워크를 형성하고 있다.

[0111] 도 15의 (b)를 참고하면, 변색성 온도 센서(1501)가 스트레칭되더라도, 변색성 온도 센서(1501)의 가열된 부분과 가열되지 않은 부분 모두 스트레칭에 따른 색 변화가 없음을 확인할 수 있다. 예를 들어, 도 16을 참고하면, 변색성 온도 센서(1501)의 스트레칭 정도를 나타내는 인장 변형율(tensile strain)(ε)이 증가하더라도, 변색성 온도 센서(1501)의 가열되지 않은 부분 대비 가열된 부분의 상대적인 R 값의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

[0113] 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 통상의 기술자라면 본 발명의 본질적인 특성이 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변경 및 수정이 가능할 것이다.

[0114] 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라, 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예들에 의하여 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0115] 본 발명의 보호범위는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

[0117] 100: 변색성 온도 센서

100-1 내지 100-5: 다수의 변색성 온도 센서들

110: 플라즈몬 마이크로겔

111: 금속 나노입자

113: 온도 감응성 마이크로겔

120: 하이드로겔

300: 폴리머 필름

500: 변색성 온도 센서 패치

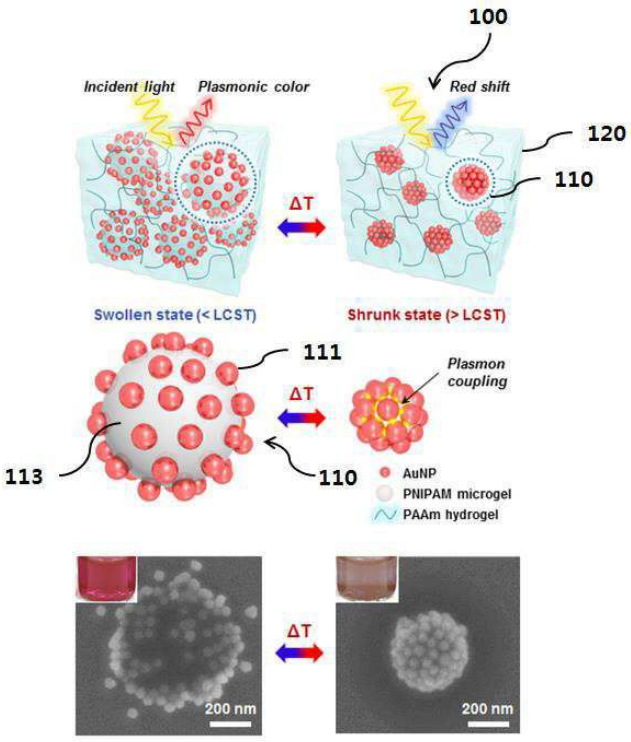
1301: 변색성 온도 센서

1303: 액츄에이터

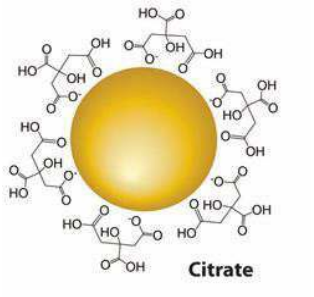
1305: PET 필름

도면

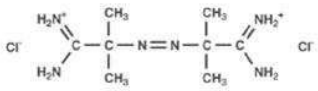
도면1



도면2



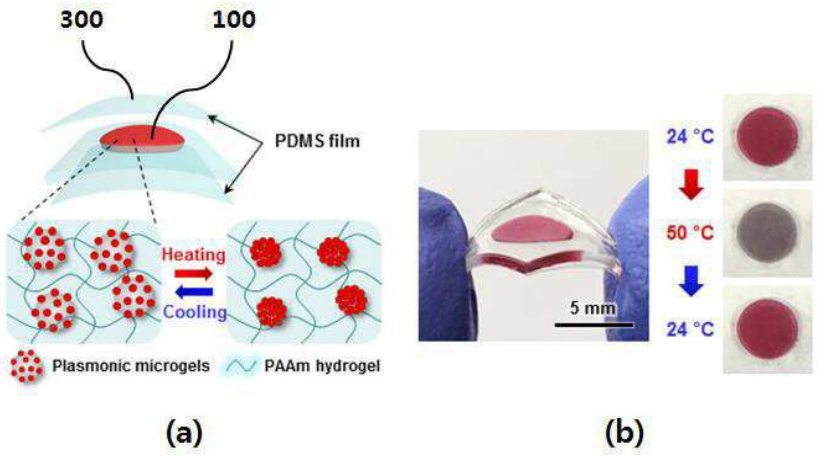
(a)



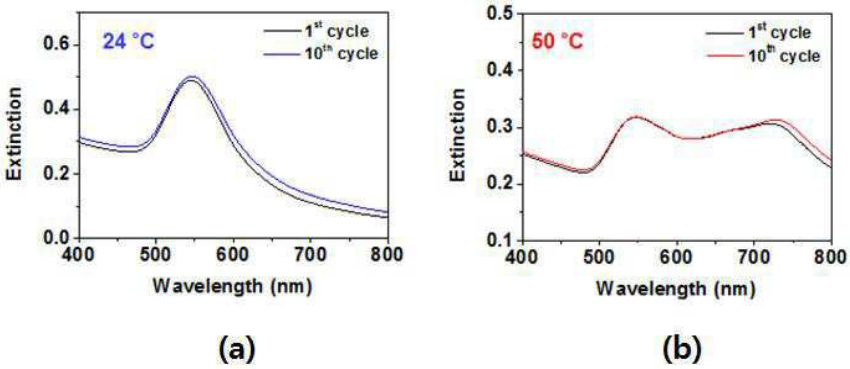
2-2'-Azobis(2-methylpropionamidine)

(b)

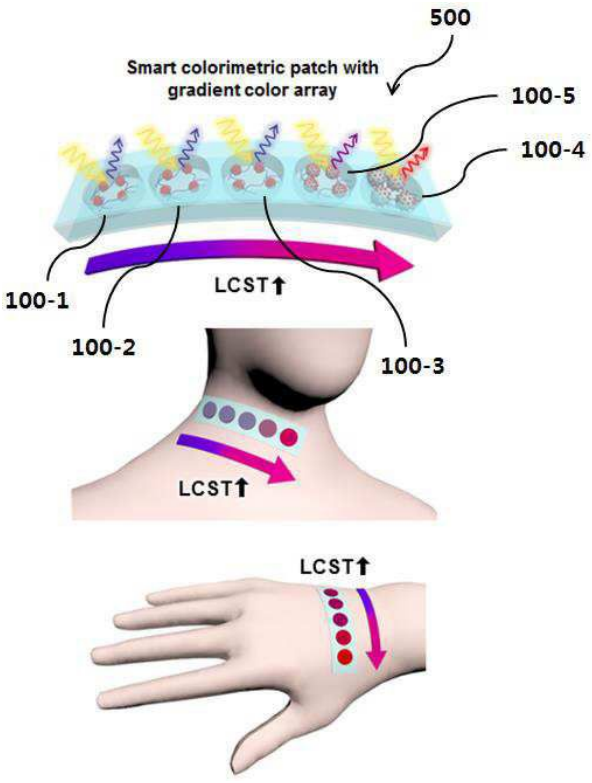
도면3


300
100
PDMS film
Heating
Cooling
Plasmonic microgels
PAAm hydrogel
5 mm
24 °C
50 °C
24 °C
(a)
(b)

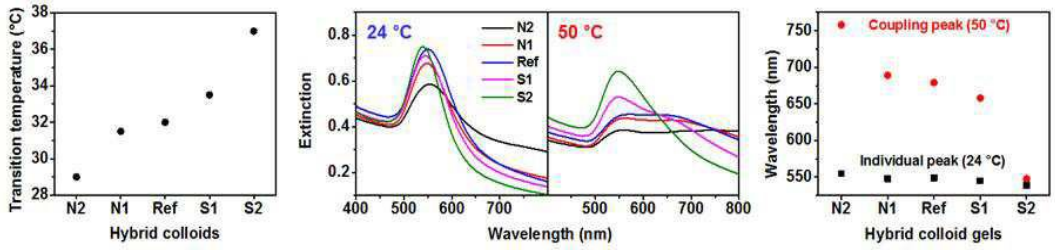
도면4


24 °C
1st cycle
10th cycle
Extinction
Wavelength (nm)
50 °C
1st cycle
10th cycle
Extinction
Wavelength (nm)
(a)
(b)

도면5

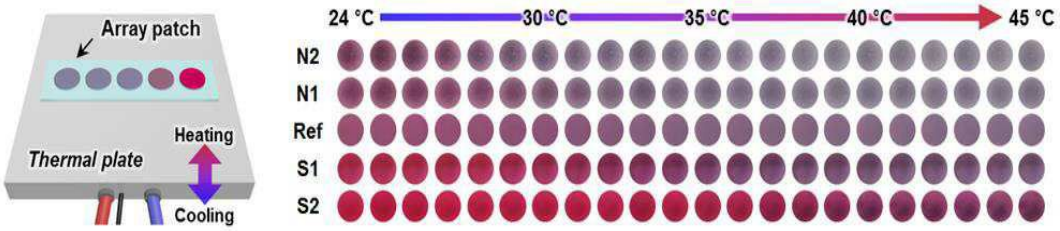

500
Smart colorimetric patch with gradient color array
100-5
100-4
100-1
100-2
100-3
LCST
LCST
LCST

도면6



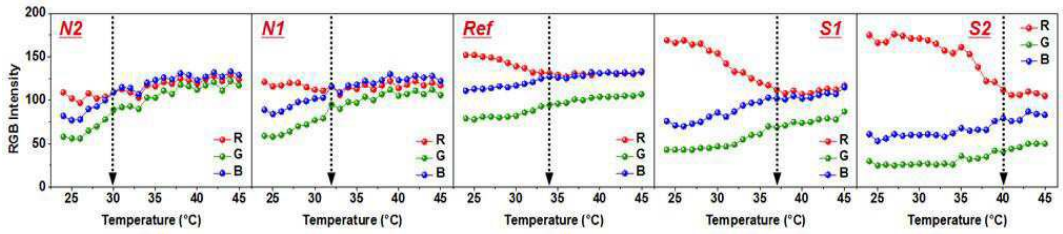
(a) (b) (c)

도면7

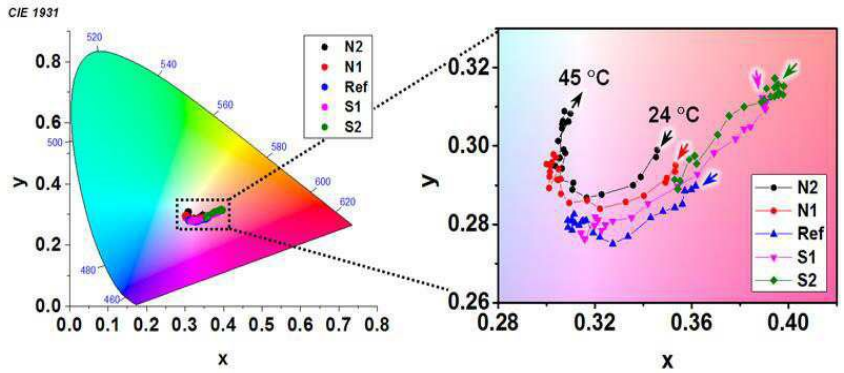


(a) (b)

도면8

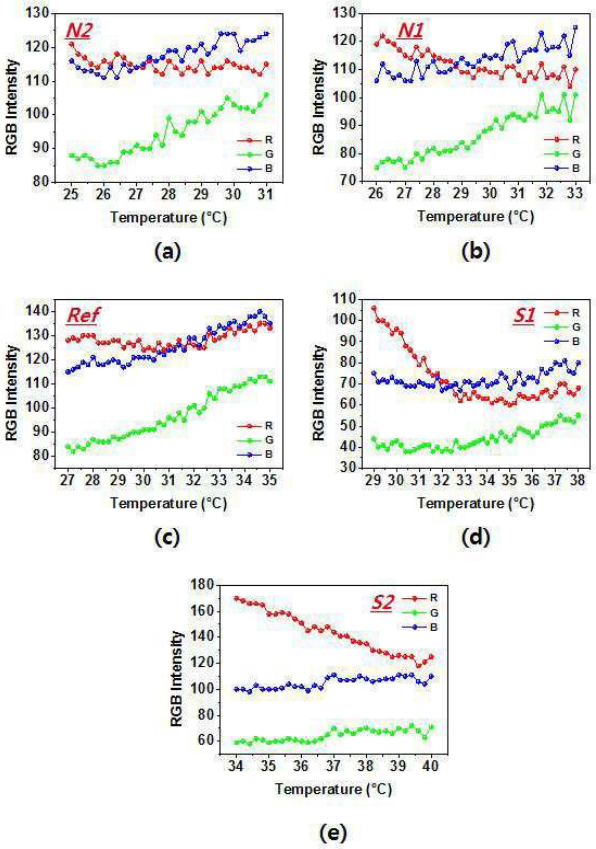


(a)

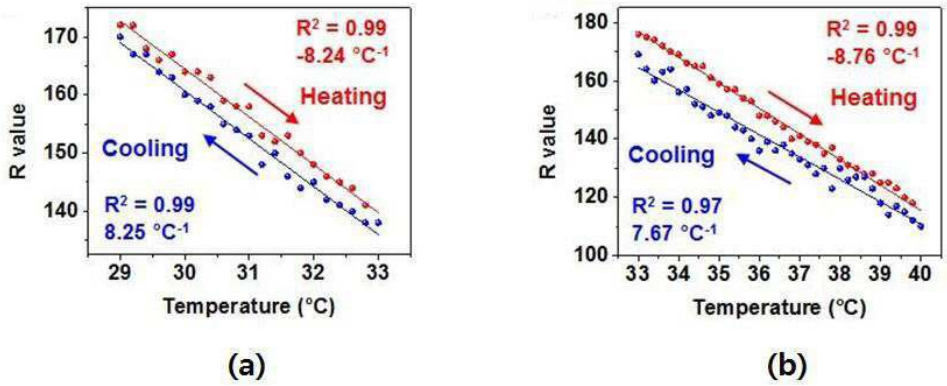


(b)

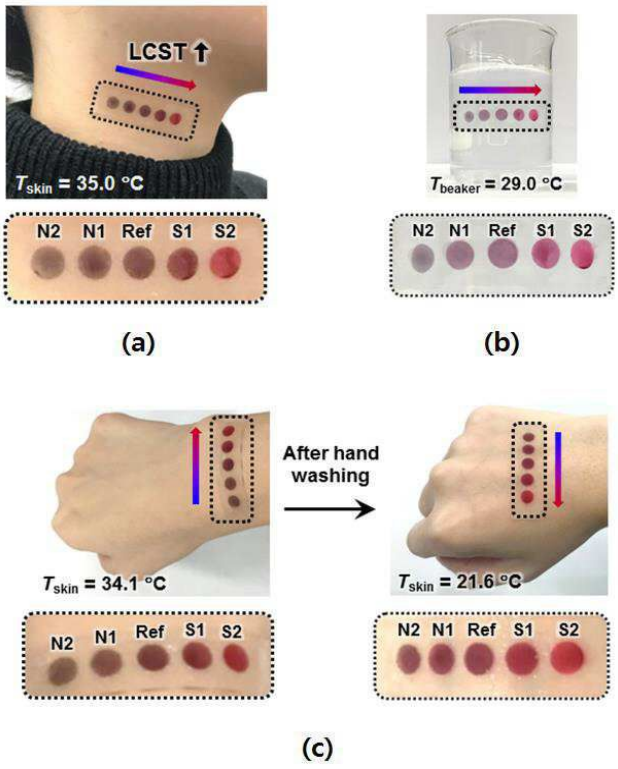
도면9


N2
RGB Intensity
Temperature (°C)
R
G
B
(a)
N1
RGB Intensity
Temperature (°C)
R
G
B
(b)
Ref
RGB Intensity
Temperature (°C)
R
G
B
(c)
S1
RGB Intensity
Temperature (°C)
R
G
B
(d)
S2
RGB Intensity
Temperature (°C)
R
G
B
(e)

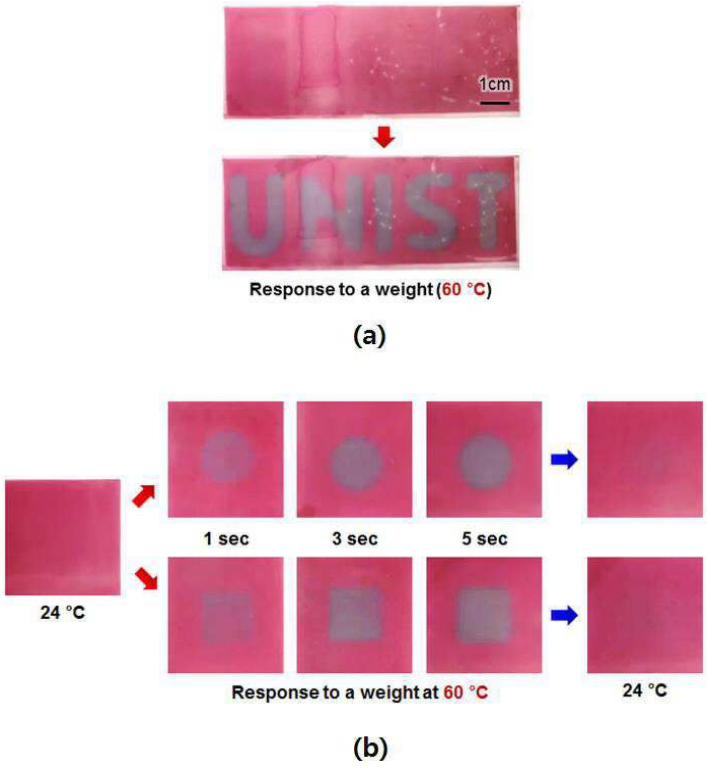
도면10


R value
Temperature (°C)
R² = 0.99
-8.24 °C⁻¹
Heating
Cooling
R² = 0.99
8.25 °C⁻¹
(a)
R value
Temperature (°C)
R² = 0.99
-8.76 °C⁻¹
Heating
Cooling
R² = 0.97
7.67 °C⁻¹
(b)

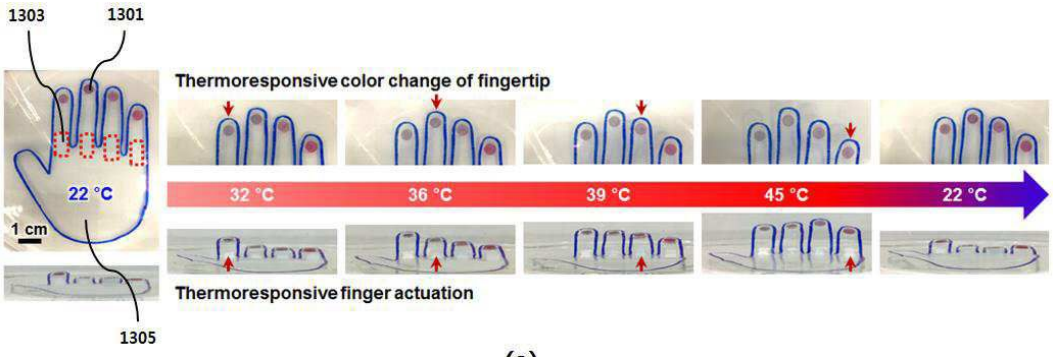
도면11


LCST
T_{skin} = 35.0 °C
N2 N1 Ref S1 S2
(a)
T_{beaker} = 29.0 °C
N2 N1 Ref S1 S2
(b)
T_{skin} = 34.1 °C
N2 N1 Ref S1 S2
After hand washing
T_{skin} = 21.6 °C
N2 N1 Ref S1 S2
(c)

도면12


1cm
UNIST
Response to a weight (60 °C)
(a)
24 °C
1 sec
3 sec
5 sec
Response to a weight at 60 °C
24 °C
(b)

도면13

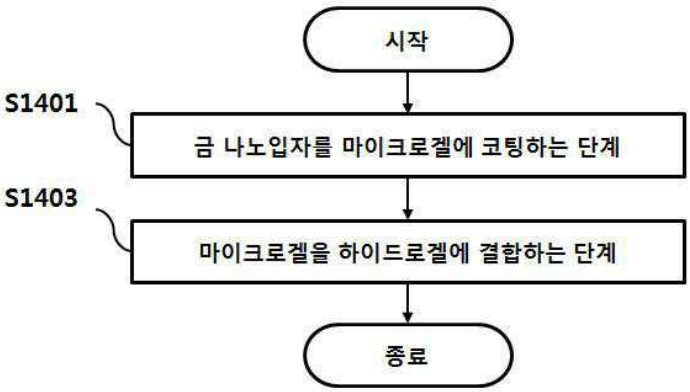


(a)

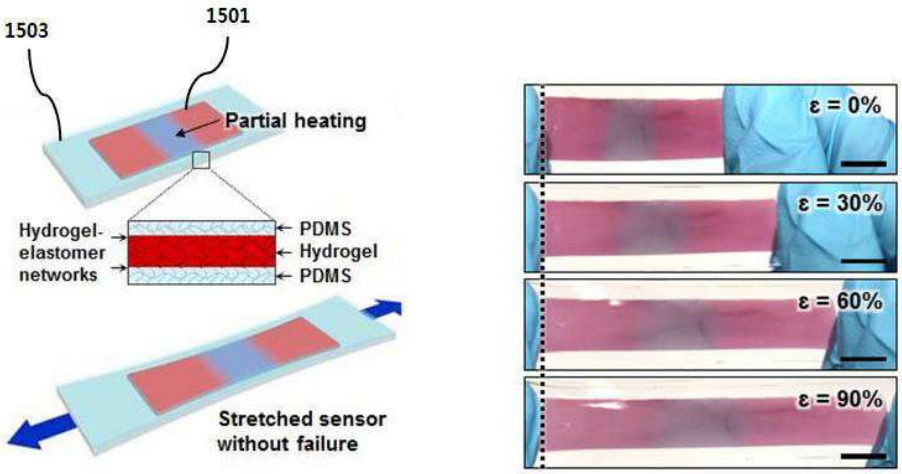


(b)

도면14



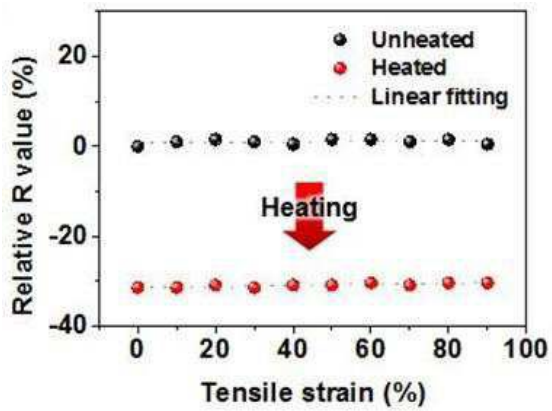
도면15



(a)

(b)

도면16


Unheated
Heated
Linear fitting
Heating
Relative R value (%)
20
0
-20
-40
0
20
40
60
80
100
Tensile strain (%)