



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0077497  
(43) 공개일자 2022년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01B 11/16 (2006.01) C08L 53/00 (2006.01)  
C08L 53/02 (2006.01) C08L 67/02 (2006.01)  
C08L 75/04 (2006.01) C08L 77/00 (2006.01)  
C08L 83/04 (2006.01) G01J 3/26 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01B 11/161 (2013.01)  
C08L 53/00 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0166492

(22) 출원일자 2020년12월02일

심사청구일자 2020년12월02일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

이명규

서울특별시 송파구 올림픽로 525, 105동 1502호  
(풍납동, 현대아파트)

(74) 대리인

특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 역학변색 센서 및 이의 용도

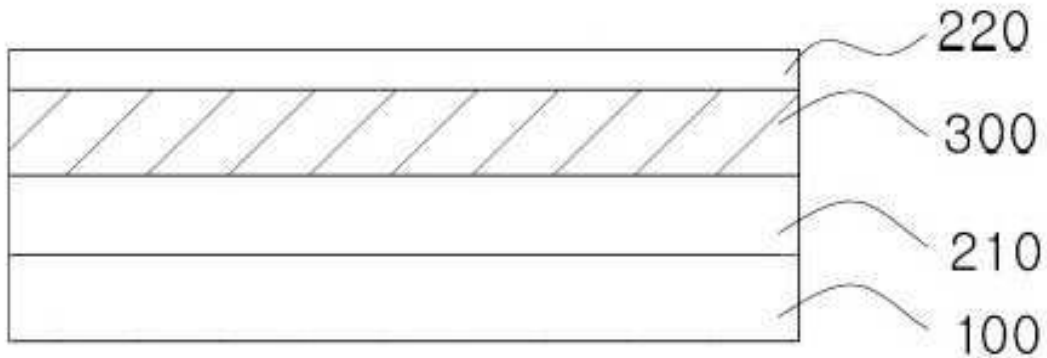
(57) 요약

본 발명은 역학변색 센서 및 이의 용도에 관한 것이다. 구체적으로, 본 발명에 따르면 기판; 상기 기판 상의 제1 금속층; 상기 제1 금속층 상의 유전체층; 및 상기 유전체층 상의 제2 금속층을 포함하고, 여기서, 상기 유전체층은 신축성 고분자를 포함하며, 제2 금속층으로부터 입사한 광이 패브리-페로(Fabry-Perot) 간섭에 의해 나타나

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

10



는 색상의 파장을 갖는 광으로서 출력되는 캐비티(cavity)로 기능하는 층인 역학변색 센서가 제공된다. 본 발명에 따른 역학변색 센서는 유전체층의 두께 변화에 의해 변색이 일어나므로, 빛의 회절을 일으키기 위한 리소그래피와 같은 패터닝 기술이 필요 없어서 대면적화에 유리하고, 색의 각도 의존성도 현저히 감소하여 아웃도어용으로 사용될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 역학변색 센서는 교량이나 빌딩과 같은 건축 구조물의 표면에 부착되면 균열이나 파손과 같은 물리적 힘에 따른 센서의 변색을 통해 건축물의 안전을 육안으로 직관적이고 간단하게 진단할 수 있게 된다.

(52) CPC특허분류

**C08L 53/02** (2013.01)

**C08L 67/02** (2013.01)

**C08L 75/04** (2013.01)

**C08L 77/00** (2013.01)

**C08L 83/04** (2013.01)

**G01J 3/26** (2013.01)

**H01L 21/2855** (2013.01)

**G01B 2290/25** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711106293
과제번호	2020R1A2C2003575
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	Fabry-Perot resonator 기반 투명 솔라셀 제조 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관;

상기 기관 상의 제1 금속층;

상기 제1 금속층 상의 유전체층; 및

상기 유전체층 상의 제2 금속층을 포함하고,

여기서, 상기 유전체층은 신축성 고분자를 포함하며, 상기 제2 금속층으로부터 입사한 광이 패브리-페로(Fabry-Perot) 간섭에 의해 나타나는 파장의 색상을 갖는 광으로서 출력되는 캐비티(cavity)로 기능하는 층인,

역학변색(mechanochromic) 센서.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유전체층은 푸아송 비(poisson's ratio)가 0.2 이상 0.6 이하인 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 유전체층은 푸아송 비가 0.4 이상 0.6 이하인 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 신축성 고분자는 폴리(스티렌-부타디엔-스티렌) (SBS), 폴리(스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌) (SEBS), 폴리(스티렌-이소프렌-스티렌) (SIS), 폴리(스티렌-에틸렌-프로필렌-스티렌) (SEPS), 및 폴리우레탄 (PU)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 기관은 플렉서블 기관인 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 플렉서블 기관은 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리이미드(PI), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN) 및 에코플렉스(ecoflex)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 금속층의 두께가 상기 제2 금속층의 두께보다 더 두꺼운 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 금속층의 두께가 100 nm 내지 300 nm 이고, 상기 제2 금속층의 두께가 10 내지 30 nm 인 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 유전체층의 두께가 100 nm 내지 450 nm이고, 상기 두께는 물리적 힘에 의해 변하는 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 10

제1항에 있어서,

상기 제2 금속층은 광 투과층이고, 상기 제1 금속층은 광 반사층인 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제1 금속층 및 상기 제2 금속층은 각각 독립적으로, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 백금(Pt), 및 이들의 합금으로 이루어진 군에서 선택되는 금속으로 형성되는 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 12

제1항에 있어서,

상기 제1 금속층 및 상기 제2 금속층은 열 증착, e-빔 증착, 또는 스퍼터링 증착에 의해 형성된 것을 특징으로 하는 역학변색 센서.

#### 청구항 13

제1항에 따른 역학변색 센서를 사용하는 것을 특징으로 하는 건축 구조물의 안전 진단 방법.

#### 청구항 14

제13항에 있어서, 상기 역학변색 센서를 건축 구조물 표면의 적어도 일부에 부착하는 단계 및 상기 부착 직후의 역학변색 센서가 표시하는 색을 기준으로 일정 시간 경과 후에 색 변환 여부를 관찰함으로써 건축 구조물의 균열 또는 노후화를 모니터링하는 단계를 포함하는 건축 구조물의 안전 진단 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 역학변색 센서 및 이의 용도에 관한 것이다. 구체적으로, 본 발명은 MIM(metal-insulator-metal) 구조를 기반으로 하는 역학변색 센서 및 이를 사용하여 건축물의 안전을 진단하는 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 염료나 안료의 첨가로 나타나는 화학색과는 달리, 구조색(structural color)은 빛이 물질의 표면구조와의 상호 작용에 의해 회절, 간섭, 공명, 산란 현상과 같은 광학적 현상을 겪음으로써 나타난다. 이러한 구조색을 조정하는 것은 발광 다이오드, 태양광 전지, 위조방지 기술, 센서 등과 같은 다양한 기술 분야에서 큰 관심의 대상이 되어 왔다. 그 중에서도 역학변색(mechanochromic) 센서는 압력과 같은 기계적 변형에 반응하여 발현되는 색이 변화한다는 점에서 여러 분야에서의 응용이 연구되고 있다.

[0003] 종래, 이러한 역학변색 센서는 압광 무기 결정체나 광결정 구조를 사용한다거나 표면이 미세하게 패터닝된 구조체를 이용하여 구성하여 왔다.

[0004] 그러나 압광 무기 결정체의 경우, 주로 고분자 매트릭스에 혼합되어 사용되는데, 이러한 매트릭스는 기계적 변형의 감지를 위해 일정 두께 이상으로 구현해야 할 필요가 있고, 이에 따라 매트릭스 두께가 두꺼워지면 무기

결정체도 다량 필요하게 되어 비용 효과적이지 못한 단점이 있다. 센서로서의 감도 또한 낮다.

[0005] 표면이 주기적으로 미세 패터닝된 구조체를 이용하는 경우 리소그래피나 임프린팅과 같은 패터닝 공정을 필수적으로 실시해야하기 때문에 대면적화에 한계가 있다. 또한 색의 발생이 주기적 구조에 따른 빛의 회절에 의한 것이므로, 구조체를 바라보는 각도에 따라 관찰 색이 달라지는 색의 각도 의존성으로 인하여 아웃도어용으로 사용하기에는 불가능하다는 근본적인 단점이 있다.

[0006] 광결정 역시 주기적 구조이므로 색의 각도 의존성이 불가피하다. 일상적인 환경(실내 및 실외)에서 빛은 다양한 각도로 입사하기에, 주기적 구조에 바탕을 둔 역학변색 센서에서는 서로 다른 방향으로 다른 색을 발현한다. 따라서 센서에서 어떤 색 변화가 관찰되었을 때, 그것이 센서에 가해지는 기계적인 힘에 의한 것인지 아니면 이전과는 조금 달라진 센서를 바라보는 각도에 의한 것인지 구별하기 힘들어지게 된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 미세 패터닝된 구조체나 광결정 구조 혹은 무기 결정체를 사용하지 않고도 역학 변색할 수 있는 센서, 및 상기 역학변색 센서의 새로운 용도를 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 양태에 따르면,
- [0009] 기판;
- [0010] 상기 기판 상의 제1 금속층;
- [0011] 상기 제1 금속층 상의 유전체층; 및
- [0012] 상기 유전체층 상의 제2 금속층을 포함하고,
- [0013] 여기서, 상기 유전체층은 신축성 고분자를 포함하며, 상기 제2 금속층으로부터 입사한 광이 패브리-페로(Fabry-Perot) 간섭에 의해 나타나는 파장의 색상을 갖는 광으로서 출력되는 캐비티(cavity)로 기능하는 층인, 역학변색(mechanochromic) 센서가 제공된다.
- [0014] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 유전체층은 푸아송 비(poisson's ratio)가 0.2 이상 0.6 이하일 수 있고, 구체적으로는, 상기 푸아송 비가 0.4 이상 0.6 이하일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 신축성 고분자는 폴리(스티렌-부타디엔-스티렌) (SBS), 폴리(스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌) (SEBS), 폴리(스티렌-이소프렌-스티렌) (SIS), 폴리(스티렌-에틸렌-프로필렌-스티렌) (SEPS), 및 폴리우레탄 (PU)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 기판은 플렉서블 기판일 수 있고, 구체적으로는, 상기 플렉서블 기판은 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리이미드(PI), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN) 및 에코플렉스(ecoflex)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 제1 금속층의 두께가 상기 제2 금속층의 두께보다 더 두꺼울 수 있다. 구체적으로, 상기 제1 금속층의 두께는 100 nm 내지 300 nm 이고, 상기 제2 금속층의 두께는 10 내지 30 nm 일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 유전체층의 두께는 100 nm 내지 450 nm이고, 상기 두께는 물리적 힘에 의해 변하는 것일 수 있다.
- [0019] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 제2 금속층은 광 투과층이고, 상기 제1 금속층은 광 반사층일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 제1 금속층 및 상기 제2 금속층은 각각 독립적으로, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 백금(Pt), 및 이들의 합금으로 이루어진 군에서 선택되는 금속으로 형성된 것일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 다른 일 구현예에 따르면, 상기 제1 금속층 및 상기 제2 금속층은 열 증착, e-빔 증착, 또는 스퍼터

링 증착에 의해 형성된 것일 수 있다.

[0022] 본 발명의 다른 일 양태에 따르면, 전술한 본 발명의 역학변색 센서를 사용하는 것을 특징으로 하는 건축 구조물의 안전 진단 방법이 제공된다.

[0023] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 건축 구조물의 안전 진단 방법은, 상기 역학변색 센서를 건축 구조물 표면의 적어도 일부에 부착하는 단계 및 상기 부착 직후의 역학변색 센서가 표시하는 색을 기준으로 일정 시간 경과 후에 색 변화 여부를 관찰함으로써 건축 구조물의 균열 또는 노후화를 모니터링하는 단계를 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0024] 본 발명에 따른 역학변색 센서는 평면 박막 구조를 가지므로, 리소그래피와 같은 패터닝 기술이 필요 없다. 이에, 대면적화에 유리하고, 색의 각도 의존성도 현저히 감소하여 아웃도어용으로도 사용될 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기계적 변형에 따른 유전체층의 두께 변화에 의해 변색이 일어나므로 광결정이나 압광 무기 재료를 별도로 사용할 필요가 없어서 비용 효과적이고 경제적으로 센서를 제조할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명에 따른 역학변색 센서는 스트레인과 같은 기계적 변형에 반응하여 색이 변화하므로, 교량이나 빌딩과 같은 구조물의 표면에 부착되면 균열이나 파손 등에 따른 센서의 변색을 통해 건축물의 안전을 육안으로 직관적이고 간단하게 진단할 수 있게 된다. 이러한 구조물의 안전 진단은 내부 감시 카메라나 드론과 같은 장비를 이용하여 실시간으로 모니터링할 수도 있고, 이에, 향후 발생할 수 있는 사고를 미리 경고하여 대형 재난을 미연에 방지할 수 있다. 더욱이, 통상적으로 구조물의 안전 진단에 소요되는 비용이 높다는 점을 고려하였을 때, 역학변색 센서를 사용하는 본 발명의 방법은 시설물의 안전 관리 뿐만 아니라 구조물의 유지 관리에 소요되는 비용과 시간이 절감되는 효과도 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른 역학변색 센서의 단면을 나타내는 단면도이다.

도 2는 본 발명에 따른 역학변색 센서의 원리를 도식적으로 나타내는 도면이다.

도 3은 FDTD(Finite-difference time-domain) 시뮬레이션에 따라 측정된, 유전체층의 초기 두께 (두께 d)와 스트레인에 따른 센서의 예측 색상을 보여주는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 구현예에 따른 제조예에서 제조한 역학변색 센서에 신장력(stretch)을 인가하였을 때 변화된 색상을, 시뮬레이션에 의해 예측된 색상과 비교한 것이다.

도 5는 구조물의 안전 진단을 위한 역학변색 센서의 적용 개념도를 나타낸 도면이다.

도 6은 역학변색 센서의 관찰 각도 의존성 여부를 테스트한 결과를 나타낸 도면이다.

도 7은 구조물 균열(crack) 발생을 가정한 실험 결과를 나타낸 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 본 발명에 대해 상세히 설명한다.

[0028] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 구현예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다.

[0029] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다, "함유"한다, "가지다"라고 할 때, 이는 특별히 달리 정의되지 않는 한, 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0030] "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 전술한 용어에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0031] 층, 막 등의 어떤 부분이 다른 부분 "위에/상에" 또는 "아래/하에"있다고 할 때, 이는 다른 부분 "바로 위에/상에" 또는 "바로 아래/하에" 있어서 어떤 부분과 다른 부분이 서로 접해 있는 경우 뿐만 아니라 그 중간에 다른 부분이 존재하는 경우도 포함한다. 반대로 어떤 부분이 다른 부분 "바로 위에/상에" 또는 "바로 아래/하에" 있

다고 할 때는 중간에 다른 부분이 없는 것을 의미한다.

- [0032] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래", "하에", "위", "상에" 등은 하나의 소자 또는 구성 요소들과 다른 소자 또는 구성 요소들과의 상관 관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 소자의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시된 소자를 뒤집을 경우, 다른 소자의 "아래"로 기술된 소자는 다른 소자의 "위"에 놓일 수 있다.
- [0033] 명세서 전체에서, "역학변색(mechanochromic) 센서"란 센서에 물리적 힘, 예를 들어 충돌, 압력, 인장력, 또는 전단력 등이 인가되면 센서로부터 방출되는 광의 색이 변하여 변색된 광이 방출되는 센서를 의미한다.
- [0035] 이하, 도면을 참고하여 본 발명에 대해 더욱 상세히 설명한다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른 역학변색 센서의 단면을 나타내는 단면도이다.
- [0037] 도 1을 참조하면, 역학변색 센서(10)는 기판(100), 상기 기판(100) 상의 제1 금속층(210), 상기 제1 금속층(210) 상의 유전체층(300), 및 상기 유전체층(300) 상의 제2 금속층(220)을 포함할 수 있다.
- [0039] 상기 기판(100)은 일 구현예에 따르면 플렉서블 기판일 수 있다. 상기 플렉서블 기판은 신축 유연성이 있고 금속층이 적층될 수 있는 재료라면 특별히 제한되지는 않으며, 예를 들어, 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리이미드(PI), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN) 및 에코플렉스(ecoflex)로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.
- [0041] 상기 유전체층(300)은 상기 제1 금속층(210)과 상기 제2 금속층(220) 사이에 위치하여 MIM (metal-insulator-metal) 구조를 형성할 수 있다. 상기 MIM 구조에서 상기 제2 금속층(220)은 광 투과층이고 상기 제1 금속층(210)은 광 반사층이다. 역학변색 센서(10)로 입사하여 상기 제2 금속층(220)을 투과한 여러 파장의 빛이 상기 제1 금속층(210)에서 반사된 빛과 패브리-페로(Fabry-Perot) 간섭을 일으켜 특정 파장의 광만 남기고 나머지 광은 모두 상쇄하고, 이에, 특정 파장의 광만 선별적으로 상기 제1 금속층을 통과하여 출력으로 나타나게 된다. 상기 제1 금속층을 통과한 출력광은 다시, 상기 제1 금속층을 투과하지 못하고 반사된 광과 보강 또는 상쇄 간섭을 일으킬 수 있고, 이러한 간섭에 의해 최종적으로 남은 특정 파장의 색상을 갖는 광에 의해 역학변색 센서가 구조색을 구현할 수 있게 된다. 여기서, 유전체층(300)은 상기 패브리-페로 간섭을 위한 캐비티(cavity)로서의 기능을 한다.
- [0042] 상기 유전체층(300)은 신축성 고분자를 포함한다. 이에 따라, 압력이나 스트레인(strain)과 같은 물리적 힘이 인가되면 신축성 고분자의 신축성으로 인해 유전체층의 두께가 변화하고, 이러한 유전체층의 두께 변화에 의해 패브리-페로 간섭을 위한 공진 조건이 변화하게 되어, 결과적으로 출력광의 파장이 변하여 센서가 발현하는 색이 변하게 되는 것이다. 도 2는 전술한 바와 같은 물리적 힘의 인가와 이에 따른 유전체층(300)의 두께 변화에 의한 색 변화를 도식적으로 설명한다. 구체적으로, 역학변색 센서(10)에 스트레인(strain)이 인가되면 유전체층의 두께(d)가 감소하게 되고, 이에 따라 cavity에서 발현되는 빛의 파장이 변하여 변색이 일어나는 것이다.
- [0043] 상기 유전체층(300)은 푸아송 비(poisson's ratio)가 0.2 이상 0.6 이하, 구체적으로는 0.4 이상 0.6 이하일 수 있다. 여기서 푸아송 비는 재료가 인장력의 작용에 따라 그 방향으로 늘어날 때 가로 방향 변형도와 세로 방향 변형도 사이의 비율을 나타낸다. 상기 푸아송 비가 0.2 보다 낮으면 인장력과 같은 물리적 힘이 가로방향으로 인가되었을 때 세로방향으로의 변형, 즉 두께 변화가 낮다. 따라서 상기 푸아송 비가 높을수록 재료가 미세한 물리적 힘의 인가도 잘 감지할 수 있게 된다.
- [0044] 상기 유전체층(300)은 굴절률이 1.3 내지 1.8일 수 있다. 상기 굴절률은 유전체층의 두께 변화에 따라 달라질 수는 있으나, 외부에서 보는 시야 각도에 따라 관찰되는 색이 달라지지 않도록 하기 위해서는 굴절률이 큰 것이 바람직하다.
- [0045] 상기 유전체층(300)은 두께가 100 nm 내지 450 nm, 구체적으로는 150 nm 내지 450 nm 일 수 있으나, 두께에 따라 센서의 초기 색상이 달라지므로 상기 두께는 센서의 용도와 같은 필요에 따라 적절히 조정될 수 있다. 유



전체 층의 두께는 물리적 힘의 인가에 따라 변할 수 있으므로, 상기 두께는 물리적 힘이 인가되지 않았을 때의 초기 두께를 가리킨다.

- [0046] 상기 유전체층 (300)에 포함되는 신축성 고분자는 예를 들어, 폴리(스티렌-부타디엔-스티렌) (SBS), 폴리(스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌) (SEBS), 폴리(스티렌-이소프렌-스티렌) (SIS), 폴리(스티렌-에틸렌-프로필렌-스티렌) (SEPS), 및 폴리우레탄 (PU)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상, 구체적으로는 1종일 수 있으나, 특별히 상기 제시된 것들로 제한되지는 않는다.
- [0047] 상기 유전체층 (300)의 제조 방법은 특별히 제한되지 않으며, 스핀 코팅, 딥 코팅, 롤 코팅, 잉크젯 프린팅 등과 같은 용액 공정에 의해 형성될 수 있다.
- [0049] 상기 제1 금속층 (210)은 상기 기판 (100) 상에 배치되며, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 백금(Pt), 및 이들의 합금으로 이루어진 군에서 선택되는 금속으로 형성되는 것일 수 있다. 또한, 상기 제2 금속층 (220)은 상기 유전체층 (300) 상에 배치되며, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 백금(Pt), 및 이들의 합금으로 이루어진 군에서 선택되는 금속으로 형성되는 것일 수 있으며, 상기 제1 금속층 (210)의 재질과 동일하거나 상이할 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 금속층 (210)은 은 (Ag)으로 형성되고 상기 제2 금속층 (220)은 은 (Ag) 또는 금 (Au)로 형성될 수 있다.
- [0050] 상기 제1 금속층 (210)은 상기 제2 금속층 (220)에 비하여 두께가 더 두꺼울 수 있다. 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 제1 금속층 (210)은 두께가 100 내지 300 nm, 구체적으로는 100 내지 200 nm 일 수 있고, 상기 제2 금속층 (220)은 두께가 10 내지 40 nm, 구체적으로는 10 내지 30 nm 일 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 금속층은 100 nm 이고 상기 제2 금속층은 10 nm 일 수 있다. 상기 제1 금속층(210)은 소량의 광을 투과시킬 수는 있으나, 본질적으로는 광을 반사시켜야 하므로, 이러한 광 반사를 위해 상기 두께는 최소 100 nm 이상인 것이 바람직하다. 상기 두께가 300 nm 이상일 경우, 비용적 측면에서 불리할 뿐만 아니라 물리적 힘에 의한 변형이 곤란해지거나 심한 경우에는 균열이 발생할 수 있다. 또한, 상기 제2 금속층 (220)은 소량의 광을 반사시킬 수는 있으나, 본질적으로는 광을 투과하는 광 투과층이고, 물리적 힘의 인가에 의해 변형이 잘 일어나야 하므로 두께가 두꺼워지면 센서의 성능에 불리한 영향을 끼칠 수 있다.
- [0051] 상기 제1 금속층 (210) 및 상기 제2 금속층 (220)은 진공 증착에 의해 형성될 수 있으며, 구체적으로는 열 증착, e-빔 증착, 또는 스퍼터링 증착에 의해 형성될 수 있다.
- [0053] 한편, 본 발명의 다른 일 양태에 따르면, 본 발명의 전술한 역학변색 센서를 사용하는 것을 특징으로 하는 건축 구조물의 안전 진단 방법이 제공된다.
- [0054] 교량이나 건물과 같은 건축 구조물의 안전을 진단, 모니터링 하기 위해 전자 내시경, 광섬유, 와이어리스 센서, RFID 시스템 등의 다양한 시스템이 개발되어 있으나, 대부분 복잡한 장비와 체계에 의존하고 있어 설치 및 운용에 많은 시간과 비용이 요구되고 있다. 따라서, 전문 장비나 인력 없이 누구나 쉽게 구조물의 노후화 정도를 실시간으로 감지할 수 있는 기술이 필요하다. 본 발명에 따른 역학변색 센서는 물리적 힘에 의해 변형시 색상이 변하고, 이러한 색상 변화는 육안으로 직관적으로 관찰될 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 건축 구조물의 안전 진단 방법은, 상기 역학변색 센서를 건축 구조물 표면의 적어도 일부에 부착하는 단계 및 상기 부착 직후의 역학변색 센서가 표시하는 색을 기준으로 일정 시간 경과 후에 색 변환 여부를 관찰함으로써 건축 구조물의 균열 또는 노후화를 모니터링하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0055] 도 5를 참조하면, 본 발명에 따른 역학변색 센서는 예를 들어 패치 형태로 구성되어, 손상이 발생하기 쉬운 건축 구조물 부위에 부착하는 방식으로 설치될 수 있다. 건축 구조물의 재료가 균열이 되면 이러한 균열에 따른 국부적 스트레인으로 인하여 유전체 층의 두께가 변하면서 센서가 변색된 색을 발현하고 이러한 변색은 육안에 의해 인식될 수 있어 건축 구조물의 노후화를 진단할 수 있게 된다.
- [0056] 다른 구현예로서, 패치 형태의 재료를 제조할 때 패치의 일부분만 (예를 들어, 도 5의 하단에 있는 "Danger"라는 글씨에 대응하는 영역) 본 발명에 따른 역학변색 센서로 구성하여 건축 구조물의 노후화에 따른 균열 발생시 해당 센서가 설치된 일부분만 변색이 되게 할 수 있다. 이러한 건축 구조물의 안전 진단은 센서의 색에 의한 직관적 관찰에 의해 실시될 수 있으므로, 내부 감시 카메라나 드론과 같은 장비를 이용하여 실시간으로 모니터링할 수 있다.



[0058] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 실시예를 참고하여 본 발명을 보다 상세히 설명한다. 그러나 하기의 실시예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐, 하기 실시예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다.

[0060] **[제조예] 본 발명에 따른 역학변색 센서의 제조**

[0061] 폴리디메틸실록산(PDMS) 기판 상에 은(Ag)을 100 nm의 두께로 진공 증착시켜, PDMS 기판 상에 제1 금속층으로서 은 박막을 형성시켰다.

[0062] 유리 기판 상에 PVA (폴리비닐 알콜)을 코팅하고, 그 위에 신축성 고분자로서 폴리(스티렌-부타디엔-스티렌)(SBS)을 코팅하였다. 상기 SBS 층과 PVA 층이 형성된 유리 기판을 물에 넣었다. 상기 PVA는 물에 잘 녹는 성질을 가지므로 상기 유리 기판을 물에 넣음에 따라 PVA 층은 물 속에서 제거된다. 이렇게 PVA 층이 희생층이 되어 물에 녹으면 SBS 층을 유리 기판으로 뜬다. 이렇게 유리 기판으로 뜬 SBS 층이 전술한 PDMS 기판 상의 은 박막 위에 오도록 덮고 약간의 압력을 가함으로써 SBS 층이 유리 기판에서 분리되어 은 박막 상에 전사되도록 하였다. 이와 같이 SBS 층을 은 박막 상에 바로 코팅하지 않고 전사하는 방식을 취하는 이유는 SBS의 용매가 PDMS 기판에 damage를 입히기 때문이다 (은 박막의 유무와 관계없이).

[0063] 전술한 전사에 의해 Ag 박막 상에 형성된 SBS 층 상에 금(Au) 박막을 20 nm의 두께로 증착하여 역학변색 센서를 완성하였다.

[0065] **[실험예 1] FDTD (Finite-difference time-domain) 시뮬레이션에 의해 측정된 역학변색 센서의 색상 변화**

[0066] 광학분야에서 널리 사용되는 FDTD 시뮬레이션 기법을 이용하여 본 발명에 따른 역학변색 센서에서 유전체층의 초기 두께 및 센서에 가해지는 스트레인(strain) 정도에 따라 발현되는 예측 색상을 도출해 보았다. 이 때, 유전체층은 SBS에 의해 형성된 것으로 하였고, 이 때 SBS의 푸아송 비는 0.5로 가정하였으며, 제2 금속층(광투과층)은 20 nm 두께의 Au 층으로 가정하고, 두께 변화에 따른 굴절률 변화는 무시하였다.

[0067] 이러한 FDTD 시뮬레이션에 의해 측정된, 유전체층의 초기 두께 및 스트레인 정도에 따른 예측 색상을 도 3에 나타내었다. 도 3에서 보는 바와 같이, 초기 두께(d)가 각각 150 nm, 200 nm, 250nm 및 300 nm 일 때 각 센서에서 나타나는 색은 서로 상이하였다. 또한, 센서에 인가되는 스트레인 정도를 10% (즉,  $\epsilon = 0.1$ )의 단위로 변화시켰을 때, 스트레인의 각 수준에 따라 나타나는 색상이 모두 상이하였다. 이로써 초기 두께와 관계없이, 스트레인의 미세한 변화도 센서의 색상에 의해 인식 및 측정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

[0069] **[실험예 2] 본 발명의 역학변색 센서에 대한 신장력 테스트**

[0070] 본 발명의 전술한 제조예에서 제조한 역학변색 센서에 신장력(stretch)을 인가하였을 때, 신장력의 세기에 따라 센서의 색이 어떻게 변화하는지를 관찰하였다. 상기 테스트 결과는 센서 표면의 사진을 찍어서 색상을 육안으로 관찰하여 도출하였으며, 이를 전술한 실험예 1의 FDTD 시뮬레이션에서 예측한 색상과 비교하여 도 4에 도시하였다. 도 4에서 보는 바와 같이, 신장력의 세기 차이에 대응하여 센서의 색상도 변화하였으며, 이로써 재료에 가해지는 물리적 힘 및 그 정도를 센서의 색상 차이에 의해 인식 및 측정할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한, 이러한 색상의 변화는 FDTD 시뮬레이션에 의한 예측 색상과 거의 일치하였다.

[0072] **[실험예 3] 관찰 색의 관찰 각도 의존성 테스트**

[0073] 유전체층의 초기 두께(d)를 각각 150 nm (도 6의 a), 240 nm (도 6의 b), 및 310 nm (도 6의 c)로 한 것을 제외하고는 제조예에서와 동일한 방법으로 역학변색 센서를 제조하였다. 상기 제조된 센서의 관찰 각도 의존성, 즉, 센서를 관찰하는 관찰 각도( $\theta$ )에 따라 관찰되는 색이 달라지는지 여부를 테스트하고, 그 결과를 도 6에 나타내었다 (여기서  $\theta=0^\circ$ 가 표면의 수직 방향). 도 6에서 알 수 있듯이, 관찰 각도에 따른 색 변화가  $\theta=0^\circ$ 에서 최소  $\theta=20^\circ$ 까지는 거의 없었다.

[0074] 미세 패터닝된 구조체나 광결정 구조를 이용하는 종래 기술의 역학변색 센서의 경우, 관찰 각도 의존성으로 인하여 기계적 변형이 없더라도 관찰 각도의 변화에 따라 관찰 색이 크게 달라질 수 있어서 매번 완전히 동일한 각도에서 관찰해야 하는 불편함이 있으며, 아웃도어용으로 사용하기에는 불가능하였다. 본 발명의 역학변색 센서의 경우 평면 박막 구조이므로, 앞서 실험예에서 알 수 있듯이 이러한 관찰 각도 의존성이 없거나 현저히 낮아진다. 이에, 본 발명의 역학변색 센서는 센서에 어떠한 색 변화가 나타났다면 그것이 관찰 각도로 인한 것이 아니라 실제 기계적 변형에 의한 변색이라는 점이 명확하므로 변색 센서로서 더 적합하고, 여러 각도에서 관찰 가능하여 아웃도어용으로 사용될 수 있다.

#### [0076] [실험예 4] 구조물 균열(crack) 진단 테스트

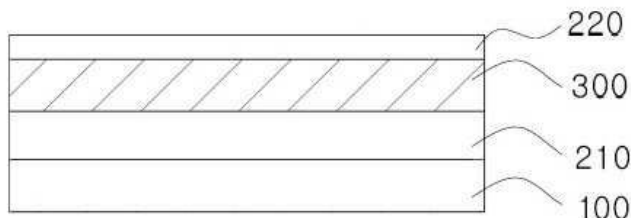
[0077] 본 발명의 제조예에 따라 역학변색 센서를 제조하였다. 두 개의 스테인리스 강철 판 위에 상기 역학변색 센서를 접착시켰다. 그 후, 상기 두 개의 판 사이에 틈을 벌려서 구조물의 균열이 일어나게 하였다. 도 7에서 알 수 있듯이, 구조물의 균열이 일어나는 위치에 대응하는 곳에서 균열 수준에 대응하여 역학변색 센서의 색상이 변하는 것을 알 수 있다 (도 7에서 S는 두 개의 판 사이의 균열 폭 치수를 나타냄). 이에, 본 발명의 역학변색 센서에 의해 건축 구조물의 균열 위치 및 균열 수준이 육안으로 관찰될 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0079] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

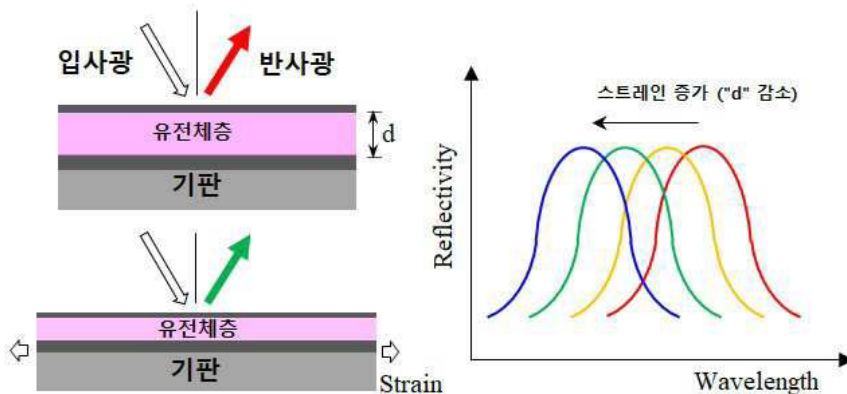
### 도면

#### 도면1

10



#### 도면2

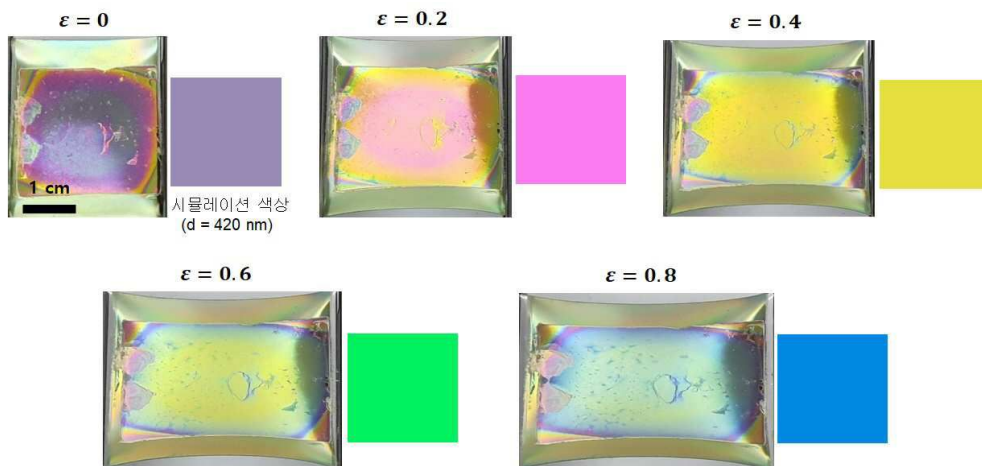


도면3

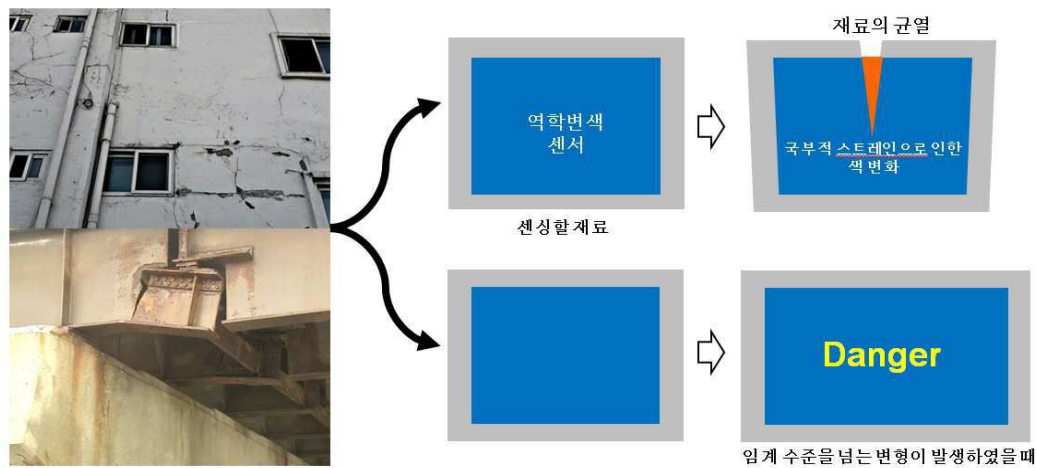
Strain 두께 d	$\varepsilon = 0.1$	$\varepsilon = 0.2$	$\varepsilon = 0.3$	$\varepsilon = 0.4$	$\varepsilon = 0.5$	$\varepsilon = 0.6$	$\varepsilon = 0.7$	$\varepsilon = 0.8$	$\varepsilon = 0.9$	$\varepsilon = 1$
150 nm										
200 nm										
250 nm										
300 nm										

(Au layer = 20 nm, SBS Poisson's ratio = 0.5 가정, 두께 변화에 따른 굴절률 변화는 무시)

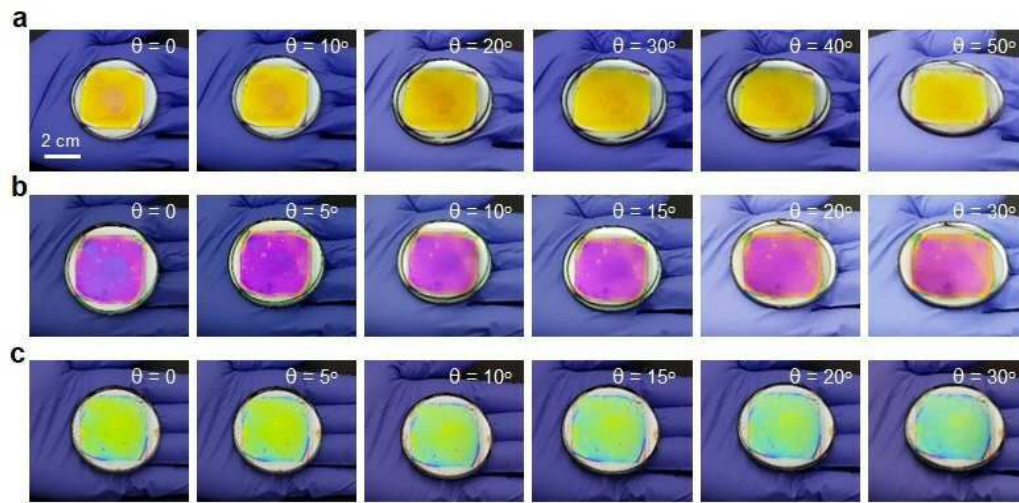
도면4



도면5



도면6



도면7

