

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0069409

(43) 공개일자 2025년05월19일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 $G02F\ 1/1514$ (2019.01) $G02F\ 1/155$ (2006.01)
 $G02F\ 1/163$ (2019.01)
- (52) CPC특허분류
 $G02F\ 1/1514$ (2022.01)
 $G02F\ 1/155$ (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-0135550
- (22) 출원일자 2024년10월07일
 심사청구일자 2024년10월07일
- (30) 우선권주장
 1020230155191 2023년11월10일 대한민국(KR)

- (71) 출원인
 이화여자대학교 산학협력단
 서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
- 순천향대학교 산학협력단
 충청남도 아산시 신창면 순천향로 22, 순천향대학교내
- (72) 발명자
 현가담
 서울특별시 강남구 압구정로 151, 112동 1101호 (압구정동, 현대아파트)
- 문천우
 서울특별시 서대문구
- 백경내
 경기도 양주시 평화로1429번길 89-94, 101동 1001호 (덕계동, 금광포란재아파트)
- (74) 대리인
 특허법인엠에이피에스

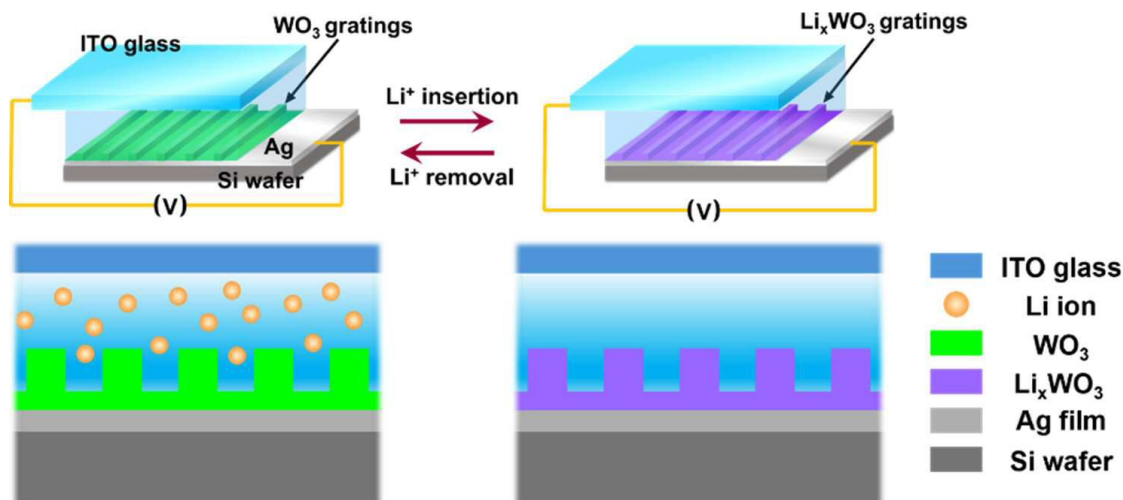
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 리튬 이온 삽입을 활용한 반사형 구조색 픽셀의 광학 대비 동적 변환

(57) 요약

본원은 반사형 구조색 픽셀 및 이를 포함하는 디스플레이에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G02F 1/163 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711192530
과제번호	2020M3D1A1110524
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래소재디스커버리지원
연구과제명	푸리에 역설계를 통한 최적화된 기계적 물성의 나노 모듈라 소재 제작
과제수행기관명	한국과학기술원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711187994
과제번호	2022R1A2C2092561
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	빛의 산란과 흡수 단면적의 동적 제어
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345374175
과제번호	2020R1A6C101B194
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국기초과학지원연구원
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	핵심연구지원센터조성지원과제(나노바이오·에너지 소재 센터)
과제수행기관명	이화여자대학교 산학협력단
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711189619
과제번호	2017R1A5A1015365
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	혼성계면 화학구조 연구센터
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

기재 및 상기 기재 상에 형성되는 손실 금속층을 포함하는 반사 기관;
상기 반사 기관 상에 형성되는 유전체 격자;
상기 유전체 격자와 간극을 두고 형성되는 투명전극; 및
상기 유전체 격자 및 상기 투명전극 사이에 위치하며, 금속 이온을 포함하는 전해질을 포함하는, 반사형 구조색 픽셀로서,
상기 금속 이온이 상기 유전체 격자 내부로 전기화학적 삽입되거나 또는 추출됨으로써 오픈 또는 온 상태를 구현하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 손실 금속층은 Au, Ag, Pt, W, Ni, Co, 및 Cu에서 선택되는 하나 이상의 금속을 포함하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 손실 금속층의 두께는 10 nm 내지 1,000 nm인 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 유전체 격자는 W, Ti, Si, Zr, Ru, Ir, Ca, Ba, Sn, Cu, Mn, C, Mo, 이들의 조합, 이들의 산화물, 이들의 황화물, 및 이들의 질화물에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 유전체 격자는 텅스텐(W) 산화물을 포함하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
상기 유전체 격자의 주기는 300 nm 내지 600 nm이고,
상기 유전체 격자의 슬릿 폭은 150 nm 내지 400 nm인 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 격자의 두께는 10 nm 내지 1,000 nm인 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 금속 이온은 Li, Cu, Ni, Ag, Sn, Bi, Pb, Na, K, Mg, Zn, Ca, 및 Al에서 선택되는 하나 이상의 금속 이온을 포함하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 투명전극은 ITO, FTO, ZnO 및 IZO에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

음극 바이어스가 인가되면 상기 금속 이온이 상기 유전체 격자 내부로 전기화학적 삽입되어 오프 상태를 구현하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

양극 바이어스가 인가되면 상기 금속 이온이 상기 전해질로 전기화학적 추출되어 색상을 발현하는 것인, 반사형 구조색 픽셀.

청구항 12

제 1 항에 따른 반사형 구조색 픽셀을 포함하는, 디스플레이.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본원은 반사형 구조색 픽셀 및 이를 포함하는 디스플레이에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 디스플레이 어플리케이션 또는 광학 가변 디바이스 (optically variable devices; OVDs)를 위한 전기적으로 변화 가능한 반사형 픽셀은, 인가된 바이어스에 따른 광범위한 색상 변화, 온/오프 스위칭 (on/off switching) 기능, 백그라운드 (background)에 대한 고대비 (high contrast) 및 가역성을 유지해야 한다. 색상 변화 또는 온/오프 스위칭 중 하나의 기능에 초점을 맞춘 연구로서 전기기계적 미에 구조 (electromechanical Mie structure); 및 전기변색 폴리머 (electrochromic polymers), 액정, 금속 전착 (metal electrodeposition), 금속-유전체 전기화학적 변환 (metal-to-dielectric electrochemical conversion), 금속 수화물 (metal hydrogenation) 및 이온 인터칼레이션 (ion intercalation)과 결합된 플라즈몬 디자인(plasmonic design)이 개발되어 왔다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-2030010호.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본원은 반사형 구조색 픽셀 및 이를 포함하는 디스플레이를 제공하고자 한다.

[0005] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본원의 제 1 측면은, 기재 및 상기 기재 상에 형성되는 손실 금속층을 포함하는 반사 기관; 상기 반사 기관 상에 형성되는 유전체 격자; 상기 유전체 격자와 간극을 두고 형성되는 투명전극; 및 상기 유전체 격자 및 상기 투명전극 사이에 위치하며, 금속 이온을 포함하는 전해질을 포함하는, 반사형 구조색 픽셀로서, 상기 금속 이온이 상기 유전체 격자 내부로 전기화학적 삽입되거나 또는 추출됨으로써 오프 또는 온 상태를 구현하는 것인, 반사형 구조색 픽셀을 제공한다.

[0007] 본원의 제 2 측면은, 제 1 측면에 따른 반사형 구조색 픽셀을 포함하는, 디스플레이를 제공한다.

발명의 효과

[0008] 본원의 구현예들에 따른 반사형 구조색 픽셀은 반사 기관, 유전체 격자, 금속 이온을 포함하는 전해질, 및 투명전극을 포함하는 것으로서, 유전체 격자로의 금속 이온의 삽입 및 추출을 통해 고대비도(약 92% 이상)의 동적 온/오프 스위칭을 구현할 수 있는 특징이 있다. 특히, 본원의 구현예들에 따른 반사형 구조색 픽셀은 주요 색상(RGB)뿐만 아니라, 가시광선 전반에 걸친 다양한 색상 대역에서도 동일한 수준의 고대비도 스위칭 성능을 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1a 및 1b는, 본원의 일 실시예에 있어서, WO_3 그레이팅(1a) 및 $LiWO_3$ 그레이팅(1b)의 주사전자현미경(scanning electron microscope; SEM) 이미지이다.

도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, WO_3 그레이팅이 형성된 반사형 픽셀을 포함하는 전기화학 셀의 모식도로서, Li 이온 삽입을 통해 $LiWO_3$ 그레이팅으로의 변환이 수행되는 전기화학 과정을 나타낸 것이다.

도 3a 및 3b는, 본원의 일 실시예에 있어서, FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 시뮬레이션을 통해 분석된, Ag 기관 상에 형성된 WO_3 그레이팅(3a) 및 $LiWO_3$ 그레이팅(3b) 픽셀의 교차 편광 환경에서의 0차 모드 반사맵을 나타낸 것이다.

도 4a 및 4b는, 본원의 일 실시예에 있어서, WO_3 그레이팅(4a) 및 $LiWO_3$ 그레이팅(4b) 픽셀에 대하여 그레이팅 격자 간 주기가 300 nm, 400 nm, 및 500 nm일 때 0차 모드 반사 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 5a 내지 5c는, 본원의 일 실시예에 있어서, FDTD 시뮬레이션을 통해 분석된, Ag 기관 상에 형성된 WO_3 그레이팅의 두께에 따른 반사도 맵을 나타낸 것으로서, WO_3 공진기 두께는 80 nm 내지 200 nm이고, 격자간 주기는 300 nm (5a), 400 nm (5b) 및 500 nm (5c)이다.

도 6a 내지 6c는, 본원의 일 실시예에 있어서, FDTD 시뮬레이션을 통해 분석된, Ag 기관 상에 형성된 $LiWO_3$ 그레이팅의 두께에 따른 반사도 맵을 나타낸 것으로서, $LiWO_3$ 공진기 두께는 80 nm 내지 200 nm이고, 격자간 주기

는 300 nm (6a), 400 nm (6b) 및 500 nm (6c)이다.

도 7a 내지 7c는, 본원의 일 실시예에 있어서, FDTD 시뮬레이션을 통해 분석된, WO_3 그레이팅과 $LiWO_3$ 그레이팅의 두께에 따른 광학대비도를 나타낸 것으로서, WO_3 및 $LiWO_3$ 공진기 두께는 80 nm 내지 200 nm이고, 격자 간 주기는 300 nm(7a), 400 nm(7b) 및 500 nm(7c)이다.

도 8은, 본원의 일 실시예에 있어서, Ag 전극 상에 그레이팅 격자 간 주기가 280 nm, 300 nm, 340 nm, 380 nm, 400 nm, 440 nm, 480 nm, 및 500 nm 인 WO_3 그레이팅이 형성된 픽셀을 포함하는 전기화학 셀의 광학 이미지로서, 광학 대비도 온/오프 스위칭을 시현한 것을 보여준다.

도 9a 내지 9c는, 본원의 일 실시예에 있어서, 각각 적색, 녹색, 청색, 및 황색을 나타내도록 제작된 WO_3 그레이팅 픽셀(9a) 및 $LiWO_3$ (9b) 그레이팅 픽셀의 반사 스펙트럼; 및 반사 스펙트럼을 기반으로 계산된 광학 대비도 (9c)를 나타낸 것이다.

도 10은, 본원의 일 실시예에 있어서, 본원의 그레이팅 픽셀을 이용하여 광학 대비도를 온/오프 한 예시를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 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.
- [0011] 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.
- [0012] 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.
- [0013] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0014] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0015] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.
- [0016] 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.
- [0017] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0019] 이하, 본원의 구현예를 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0021] 본원의 제 1 측면은, 기재 및 상기 기재 상에 형성되는 손실 금속층을 포함하는 반사 기관; 상기 반사 기관 상에 형성되는 유전체 격자; 상기 유전체 격자와 간극을 두고 형성되는 투명전극; 및 상기 유전체 격자 및 상기 투명전극 사이에 위치하며, 금속 이온을 포함하는 전해질을 포함하는, 반사형 구조색 픽셀로서, 상기 금속 이온이 상기 유전체 격자 내부로 전기화학적 삽입되거나 또는 추출됨으로써 오프 또는 온 상태를 구현하는 것인, 반사형 구조색 픽셀을 제공한다.

- [0022] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기재는 Si, SiO₂, 퀴츠(quartz), 또는 ITO(indium tin oxide) 유리 기판을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0023] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기재는 상기 손실 금속층의 표면 거칠기를 개선하고, 잔류 전류를 억제하는 기능을 할 수 있다.
- [0024] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 손실 금속층은 Au, Ag, Pt, W, Ni, Co, 및 Cu에서 선택되는 하나 이상의 금속을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0025] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 손실 금속층은 상기 전해질에 대한 화학적 안정성이 우수한 것일 수 있다.
- [0026] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 손실 금속층의 두께는 약 10 nm 내지 약 1,000 nm, 약 10 nm 내지 약 900 nm, 약 10 nm 내지 약 800 nm, 약 10 nm 내지 약 700 nm, 약 10 nm 내지 약 600 nm, 약 10 nm 내지 약 500 nm, 약 10 nm 내지 약 400 nm, 약 10 nm 내지 약 300 nm, 약 10 nm 내지 약 200 nm, 약 100 nm 내지 약 1,000 nm, 약 100 nm 내지 약 900 nm, 약 100 nm 내지 약 800 nm, 약 100 nm 내지 약 700 nm, 약 100 nm 내지 약 600 nm, 약 100 nm 내지 약 500 nm, 약 100 nm 내지 약 400 nm, 약 100 nm 내지 약 300 nm, 또는 약 100 nm 내지 약 200 nm일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0027] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자는 W, Ti, Si, Zr, Ru, Ir, Ca, Ba, Sn, Cu, Mn, C, Mo, 이들의 조합, 이들의 산화물, 이들의 황화물, 및 이들의 질화물에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0028] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자는 WO₃, TiO₂, SiO₂, ZrO₂, RuO₂, IrO₂, CaO, SrO, BaO, MnO, CuO, CuO₂, Cu₂O₃, MoS₂, 및 TiN에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0029] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자는 텅스텐(W) 산화물을 포함하는 것일 수 있다.
- [0030] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자의 주기(period)는 약 300 nm 내지 약 600 nm이고, 상기 유전체 격자의 슬릿(slot) 폭(width)은 약 150 nm 내지 약 400 nm일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0031] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자의 주기는 상기 슬릿 폭 및 상기 유전체 격자의 바(bar) 폭의 합일 수 있다. 상기 유전체 격자의, 주기 및 슬릿 폭의 범위는, 상기 반사형 구조색 픽셀로부터 구현하고자 하는 수동형 색상에 따라 달라질 수 있다.
- [0032] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 수동형 색상은 상기 유전체 격자에 의하여 나타나는 고정형 속성일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자의, 주기 및 슬릿 폭의 범위는, 상기 유전체 격자 및 상기 금속의 물질 종류에 따라 달라질 수 있다.
- [0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자의 주기는 약 300 nm 내지 약 600 nm, 약 300 nm 내지 약 550 nm, 약 300 nm 내지 약 500 nm, 약 300 nm 내지 약 450 nm, 약 300 nm 내지 약 400 nm, 약 300 nm 내지 약 350 nm, 약 350 nm 내지 약 600 nm, 약 350 nm 내지 약 550 nm, 약 350 nm 내지 약 500 nm, 약 350 nm 내지 약 450 nm, 약 350 nm 내지 약 400 nm, 약 400 nm 내지 약 600 nm, 약 400 nm 내지 약 550 nm, 약 400 nm 내지 약 500 nm, 약 400 nm 내지 약 450 nm, 약 450 nm 내지 약 600 nm, 약 450 nm 내지 약 550 nm, 약 450 nm 내지 약 500 nm, 약 500 nm 내지 약 600 nm, 또는 약 500 nm 내지 약 550 nm일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0034] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자의 슬릿 폭은 약 150 nm 내지 약 400 nm, 약 150 nm 내지 약 350 nm, 약 150 nm 내지 약 300 nm, 약 150 nm 내지 약 250 nm, 약 150 nm 내지 약 200 nm, 약 200 nm 내지 약 400 nm, 약 200 nm 내지 약 350 nm, 약 200 nm 내지 약 300 nm, 약 200 nm 내지 약 250 nm, 약 250 nm 내지 약 400 nm, 약 250 nm 내지 약 350 nm, 약 250 nm 내지 약 300 nm, 약 300 nm 내지 약 400 nm, 또는 약 300 nm 내지 약 350 nm일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0035] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 격자의 두께는 약 10 nm 내지 약 1,000 nm, 약 10 nm 내지 약 900 nm, 약 10 nm 내지 약 800 nm, 약 10 nm 내지 약 700 nm, 약 10 nm 내지 약 600 nm, 약 10 nm 내지 약 500 nm, 약 10 nm 내지 약 400 nm, 약 10 nm 내지 약 300 nm, 약 10 nm 내지 약 200 nm, 약 50 nm 내지 약 1,000 nm, 약 50 nm 내지 약 900 nm, 약 50 nm 내지 약 800 nm, 약 50 nm 내지 약 700 nm, 약 50 nm 내지 약 600 nm, 약 50 nm 내지 약 500 nm, 약 50 nm 내지 약 400 nm, 약 50 nm 내지 약 300 nm, 약 50 nm 내지 약 200 nm, 약 80 nm 내지 약 1,000 nm, 약 80 nm 내지 약 900 nm, 약 80 nm 내지 약 800 nm, 약 80 nm 내지 약 700 nm, 약 80 nm

내지 약 600 nm, 약 80 nm 내지 약 500 nm, 약 80 nm 내지 약 400 nm, 약 80 nm 내지 약 300 nm, 약 80 nm 내지 약 200 nm, 약 100 nm 내지 약 1,000 nm, 약 100 nm 내지 약 900 nm, 약 100 nm 내지 약 800 nm, 약 100 nm 내지 약 700 nm, 약 100 nm 내지 약 600 nm, 약 100 nm 내지 약 500 nm, 약 100 nm 내지 약 400 nm, 약 100 nm 내지 약 300 nm, 또는 약 100 nm 내지 약 200 nm일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

- [0036] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀은 상기 유전체 격자의 두께와 상관없이, 상기 유전체 격자의 주기 및 슬릿 폭에 따라 색상이 결정되는 것일 수 있다.
- [0037] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전해질에 포함되는 상기 금속 이온은 Li, Cu, Ni, Ag, Sn, Bi, Pb, Na, K, Mg, Zn, Ca, 및 Al에서 선택되는 하나 이상의 금속 이온을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0038] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속 이온은 상기 전해질에 포함되는 금속염이 용해되어 생성되는 것일 수 있다.
- [0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속염은 Li염을 포함하는 것일 수 있으며, 비제한적 예로서, LiBr 또는 LiClO₄를 포함하는 것일 수 있다.
- [0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전해질은 비제한적인 예로서, BMIM TFSI(1-Butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide) 또는 프로필렌 카보네이트(Propylene carbonate) 전해질을 포함하는 것일 수 있다.
- [0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전해질은 상기 반사 기관 및 상기 투명 전극을 화학적으로 손상시키지 않고, 상기 금속 이온의 삽입 및 추출 반응에서 부산물 또는 석출물을 생성하지 않으며, 동작 전압 범위 내에서 용액 및 용액 내의 수분이 분해되지 않도록 하는 것일 수 있다.
- [0042] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전해질에 사용되는 용매는 상기 반사형 구조색 픽셀의 구동 범위에서 분해되지 않으며, 상기 금속염을 용해시킬 수 있으며, 상기 반사 기관, 상기 유전체 격자, 및 상기 투명 전극에 영향을 미치지 않는 것이면 제한없이 사용될 수 있다.
- [0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전해질은 용매로서 다이메틸설폭사이드(dimethyl sulfoxide; DMSO), 아세토 나이트릴(acetonitrile), N-메틸-2-피롤리돈(N-Methyl-2-pyrrolidone; NMP), 및 1-부틸-3-메틸이미다졸륨비스(1-Butyl-3-methylimidazoliumbis)에서 선택되는 하나 이상을 사용하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0044] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 투명 전극은 ITO(indium tin oxide), FTO(fluorine-doped tin oxide), ZnO(zinc oxide), 및 IZO(indium zinc oxide)에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 투명 전극은 투명 기관 상에 ITO(indium tin oxide), FTO(fluorine-doped tin oxide), ZnO(zinc oxide), 및 IZO(indium zinc oxide)에서 선택되는 하나 이상의 투명 전극 물질을 포함하는 것일 수 있다.
- [0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀은, 상기 반사 기관은 작업 전극으로서 작용하며, 상기 투명 전극은 상대 전극으로서 작용하는 것일 수 있다.
- [0046] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀은 음극 바이어스가 인가되면 상기 금속 이온이 상기 유전체 격자 내부로 전기화학적 삽입되어 오프(off) 상태를 구현하는 것일 수 있다.
- [0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속 이온이 상기 유전체 격자 내부로 삽입되면 반사도가 현저히 감소하여 오프 상태의 검은색을 구현하는 것일 수 있다.
- [0048] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 음극 바이어스의 범위는 약 -5 V 내지 약 0 V, 약 -4 V 내지 약 0 V, 약 -3 V 내지 약 0 V, 약 -2 V 내지 약 0 V, 약 -1 V 내지 약 0 V, 또는 약 -0.5 V 내지 약 0 V일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0049] 본원의 일 구현예에 있어서, 양극 바이어스가 인가되면 상기 금속 이온이 상기 전해질로 전기화학적 추출되어 색상을 발현하는 것일 수 있다.
- [0050] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀은 양극 바이어스가 인가되면 상기 유전체 격자 내부로 삽입된 상기 금속 이온이 상기 전해질로 전기화학적 추출되어 초기의 색상을 발현하는 것일 수 있다.

- [0051] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀이 검은색이 아닌 색상을 발현하는 상태는 온(on) 상태를 의미할 수 있다.
- [0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 양극 바이어스의 범위는 약 0 V 내지 약 5 V, 약 0 V 내지 약 4 V, 약 0 V 내지 약 3 V, 약 0 V 내지 약 2 V, 약 0 V 내지 약 1.5 V, 약 0 V 내지 약 1 V, 또는 약 0 V 내지 약 0.5 V일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0053] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀은 상기 유전체 격자로의 상기 금속 이온의 추출 및 삽입에 의해 고대비도의 온/오프 상태를 구현할 수 있다.
- [0054] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 구조색 픽셀의 온/오프 상태의 광학 대비도는 약 90% 이상 또는 약 92% 이상일 수 있다.
- [0056] 본원의 제 2 측면은, 제 1 측면에 따른 반사형 구조색 픽셀을 포함하는, 디스플레이를 제공한다.
- [0057] 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.
- [0058] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 디스플레이는 전자 리더기(e-reader), 전자 라벨(e-label), 홀로그래피, 플렉서블 디스플레이, 근안(near-eye) 메타렌즈, 스테가노그래피(steganography), 또는 위변조 기술((anti)counterfeiting)에 포함되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0059] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일 뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[실시예]

[0062] 1. WO₃ 그레이팅 픽셀(grating pixel) 제작

- [0063] 작업 전극으로 사용될 금속 기판 제작을 위하여 Si 기판에 Ag 손실 금속을 불투명한 두께(100 nm)로 증착하여 완전 반사층을 포함한 금속 전극을 생성하였다. 상기 Si 기판은 손실 금속 반사판의 표면 거칠정도 개선을 위하여 선택한 것으로서, SiO₂, 퀴츠(quartz), 또는 ITO(indium tin oxide) 유리 기판 등으로 대체될 수 있다. 상기 손실 금속 또한 Ag 외에 Au, Pt, W, Ni, Co, 또는 Cu등을 포함할 수 있다. Ag 손실 금속은 전자빔 증착장비를 사용하여, 각각 접착력과 표면거칠을 개선하기 위한 1 nm 두께의 Ti과 Ge 웨팅층을 포함하여 순차적으로 증착되었다.
- [0064] 상기 손실 금속 반사판 상단에 약 300 nm 포지티브(positive) PMMA(poly(methyl methacrylate)) (PMMA A4) 레지스트 층을 스핀 코터를 이용해 제작하고, 전자빔 리소그래피 장비를 사용해 그레이팅 패턴이 반복되는 50×50 μm² 크기의 픽셀을 형성하였다. 이때 다양한 구조색 재현을 위하여 그레이팅 패턴 간 주기를 각각 280 nm, 300 nm, 340 nm, 380 nm, 400 nm, 440 nm, 480 nm, 및 500 nm 로 설정하여 제작하였다. 그레이팅 패턴은 MIBK(methyl isobutyl ketone):IPA(iso propyl alcohol)=1:1 용액으로 그레이팅 패턴을 현상하고, 현상된 기판에 전자빔 증착기를 사용하여 웨팅층인 W 2 nm 및 유전체 공진기 층인 WO₃ 130 nm 층을 증착하고, 리프트 오프를 통해 최종적으로 WO₃ 그레이팅 픽셀을 제작하였다. 추후 전기화학 구동과정에서 작업전극인 손실 금속판의 분해 및 손실을 막기 위하여 10 nm 두께의 WO₃ 층을 증착하여 손실 금속이 노출되지 않도록 제작하였다. 도 1a 및 1b는 WO₃ 그레이팅(1a) 및 추후 Li 이온이 삽입된 후의 LiWO₃ 그레이팅 (1b)의 SEM 이미지이다.

[0065] 2. 전기화학 셀 제작

- [0066] 상대 전극로 사용되는 동시에 반사형 픽셀의 구조색을 관측하기 위해 투명한 ITO 유리 기판을 사용하였다. ITO 기판에 전해질을 주입하기 위해 2개의 구멍을 형성하고, 이 공간을 위한 중앙이 비어있는 60 μm 두께의 열접착 필름을 부착하였다. WO₃ 그레이팅 픽셀이 패턴화된 작업 전극 및 상대 전극 사이에 열접착 필름을 위치시킨 후 135℃에서 구성 요소 간 접착을 진행하였다. 마지막으로, 50 mM LiClO₄이 함유된 BMIM TFSI(1-Butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide) 또는 프로필렌 카보네이트 전해질을 상대 전극에 있는

구멍을 통해 주입하였다 (도 2).

3. WO₃ 그레이팅 구조색 분석

FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 계산은 입사광과 신호광의 교차 편광 상태에서 WO₃ 그레이팅과 LiWO₃ 그레이팅 간의 광학 대비도를 분석하기 위해 수행되었다 (도 3a 및 3b). FDTD 모델링에서, 그레이팅 격자는 평면파 광원의 전기장 벡터에 대하여 45도 회전된 상태로 배치되었고, 교차 편광 상태의 구조색을 분석하기 위해 입사 필드에 직교하는 0차 반사광 필드 성분을 중점으로 분석되었다. Ag 반사판에 위치한 WO₃ 그레이팅은 파장 300 nm 내지 800 nm 범위 내에서 다양한 공명 파장이 그레이팅 간의 주기에 따라 나타남을 확인했으며, 이로써 다양한 구조색을 생성할 수 있는 가능성을 입증하였다 (도 3a).

4. 광학 대비도 계산 분석

Li 이온 삽입에 따른 광학 대비도 분석을 위해 FDTD 시뮬레이션을 수행하여 WO₃ 그레이팅과 LiWO₃ 그레이팅 픽셀의 교차 편광 반사도를 분석하였다. 도 3a 및 3b는 WO₃ 및 LiWO₃ 그레이팅의 주기와 파장에 대한 이러한 분석 결과를 시각적으로 나타내는 반사 맵을 제시하고 있다. 각각의 반사 맵의 결과를 통해 Li 이온이 WO₃ 공진기 내부에 삽입되면 반사도가 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 도 4a 및 4b는, WO₃(4a) 및 LiWO₃(4b) 그레이팅 픽셀에 대하여 그레이팅 격자 간 주기가 300 nm, 400 nm, 및 500 nm일 때 0차 모드 반사 스펙트럼을 보여주며, Li 이온 삽입으로 최대 92%의 광학 대비도 향상이 가능함을 입증하였다. 이러한 효과는 Li 이온의 삽입으로 WO₃ 공진기의 광학상수 허수부가 변화하고, 이로 인해 손실 탄젠트가 증가하는 결과에서 비롯된 것이다. 또한, 도 5a 내지 5c 및 도 6a 내지 6c는 각각 WO₃ 그레이팅 및 LiWO₃ 그레이팅에 대하여 그레이팅 격자 간 주기가 300 nm (도 5a 및 도 6a), 400 nm (도 5b 및 도 6b), 및 500 nm (도 5c 및 도 6c)일 때, 두께 및 파장에 대한 반사도 맵을 보여주는 것으로서, WO₃ 그레이팅 픽셀의 구조색이 공진기 두께와 무관하며 주기에 따라 색 변화가 일어나는 것을 보여준다. 또한, 도 7a 내지 7c는 추가로 계산된 광학 대비도로서, 공진기 두께와 무관하게 Li 이온 삽입 시 고 대비율을 나타내는 것을 입증하고 있다.

5. 대비도 온/오프 스위칭 실시예

Ag 금속 작업 전극 상에 WO₃ 그레이팅 픽셀을 제작하고, ITO 유리를 상대 전극으로 활용하여 전기화학 셀을 조성한 후, Li 이온의 추출/삽입에 따른 전기화학적 온/오프(on/off) 동작을 시연하였다 (도 8). 먼저, 음전위(-3 V)를 인가하면 Li 이온이 WO₃ 그레이팅 공진기 내부로 삽입되어 반사도가 급격히 감소하며, 결과적으로 '오프' 상태의 검정 색상이 형성된다. 이는 Li 이온이 공진기 내부로 활발하게 이동함으로써 광학 특성이 변화하고 반사가 차단되는 현상을 보여준다. 반면, 역전위(1.6 V)가 인가되면 Li 이온이 공진기 내부에서 전해질로 다시 추출되어 초기의 색상으로 돌아오며, 이는 '온' 상태를 나타낸다. 이러한 실험을 통해 Li 이온의 추출/삽입에 의한 전기화학적 온/오프 동작을 성공적으로 확인할 수 있다.

또한, 제작된 셀에서 적색, 녹색, 청색 및 황색에 해당하는 픽셀을 선택하여 반사도를 측정하고, Li 삽입 전/후의 반사도 차이를 확인하여 주요색에서 광학대비도가 80% 이상을 달성하는 것을 입증하였다 (도 9a 내지 9c). 또한, 실용적 예를 보여주기 위하여 WO₃ 그레이팅으로 특정 문구를 제작하고 Li 삽입 및 추출으로 광학 대비도를 동적으로 제어할 수 있음을 입증하였다 (도 10).

6. 결론

본 발명은 구조색 픽셀의 대비도를 동적으로 조절할 수 있는 장치와 방법을 소개한다. 주요 기술은 WO₃ 나노 그레이팅과 리튬(Li) 이온의 삽입 및 추출을 통해 구조적인 색의 대비를 조절하는 것이다. 본 발명의 구조색 픽셀은 레일리-우드 변칙 (Rayleigh-wood anomaly, RA)을 활용하여 다양한 색상을 만들 수 있으며, 교차 편광 환경에서 활성화되고 검출된다. FDTD 계산을 사용하여 특정 그레이팅 두께에서의 삽입 및 추출 상태 간의 뛰어난 스위칭 대비 (>92%)를 입증하였다. 또한, 실험적으로, 금속 작업 전극과 ITO 상대 전극 사이에 리튬 이온을 함유한 전해질을 사용하여 전기화학적 셀을 제조하였다. 이때 그레이팅은 입력 편광에 대해 45° 로 배치되었으며, 분리된 직교 편광 필터를 통해 반사를 관찰함으로써 다양한 색상을 확인하였다. 이러한 전기화학 셀에 음극 바이어스를 적용하고, Li 이온을 WO₃ 그레이팅 내부에 삽입시킨 LiWO₃ 그레이팅을 통해 완전한 '검은색'을 시연하였다. 반대로 양극 바이어스가 적용되면 다양한 그레이팅에서 Li 이온이 추출되어 원래의 색상이 다시

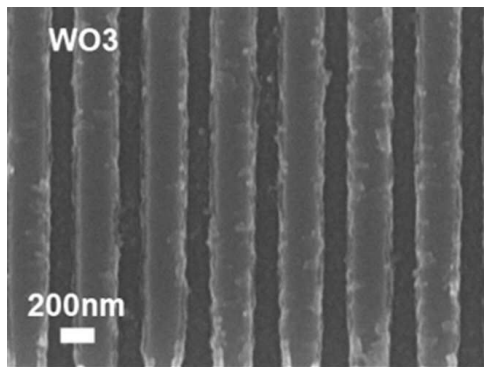
나타난다. 이러한 실험 및 계산 결과를 토대로, 본 발의 기술은 높은 대비의 동적 반사 디스플레이 장치에서 구조색 픽셀을 효과적으로 활용할 수 있다.

[0077] 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 수도 있다.

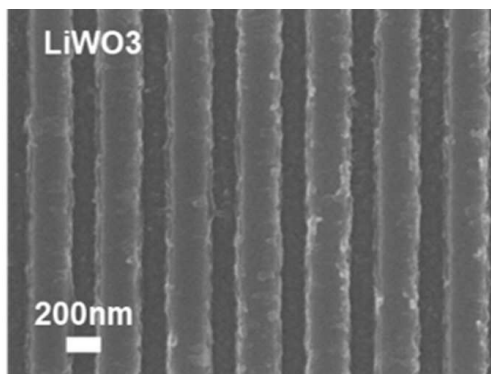
[0078] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

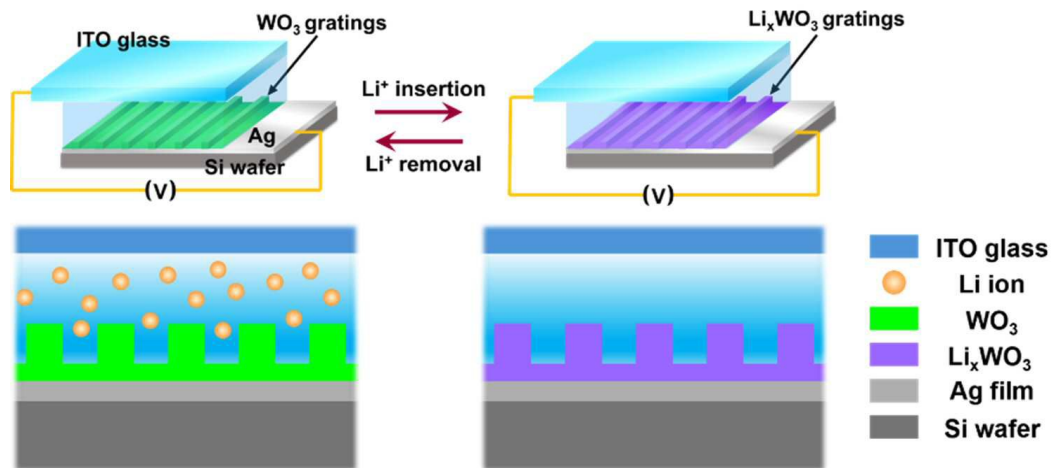
도면1a



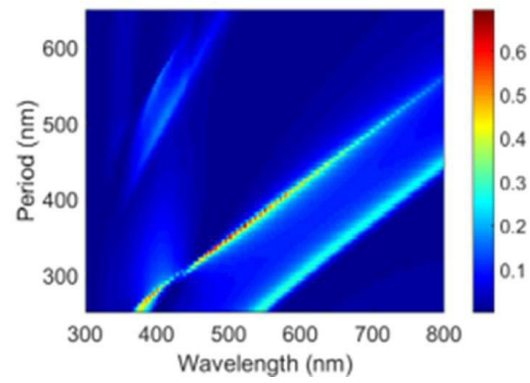
도면1b



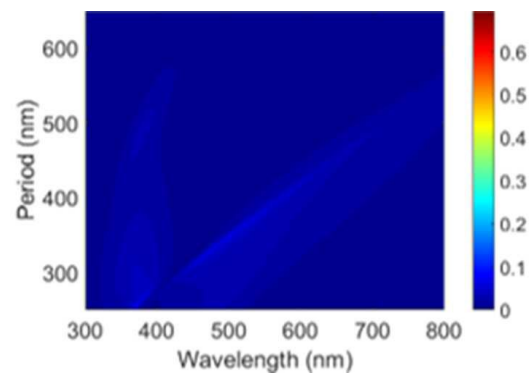
도면2



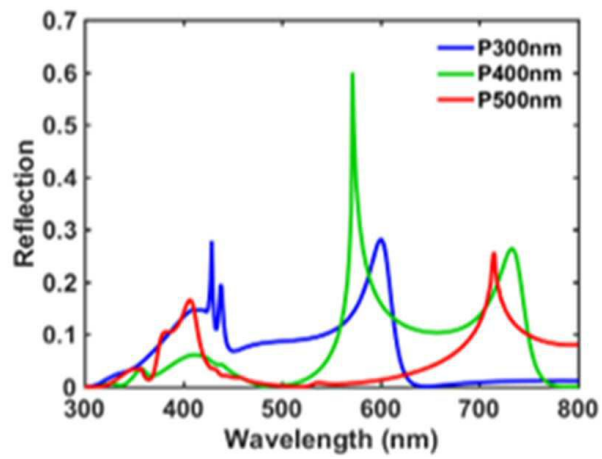
도면3a



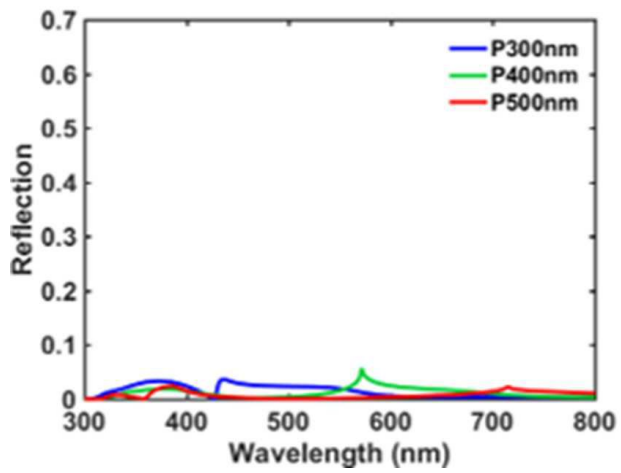
도면3b



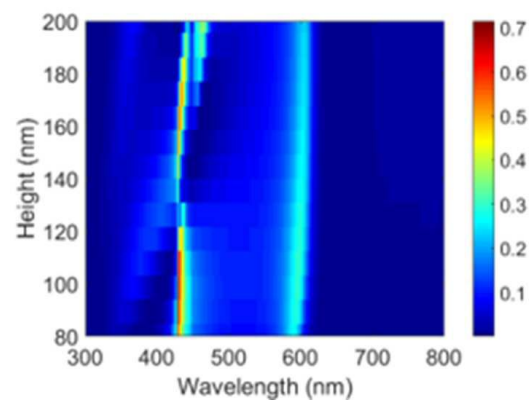
도면4a



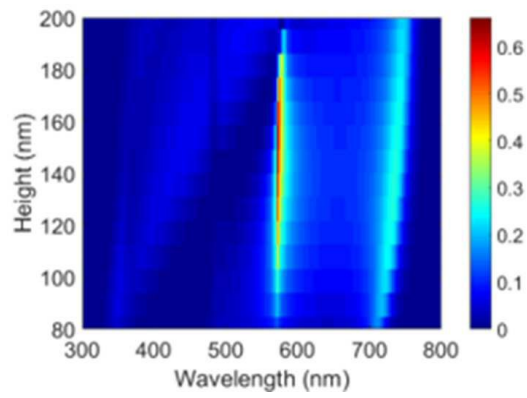
도면4b



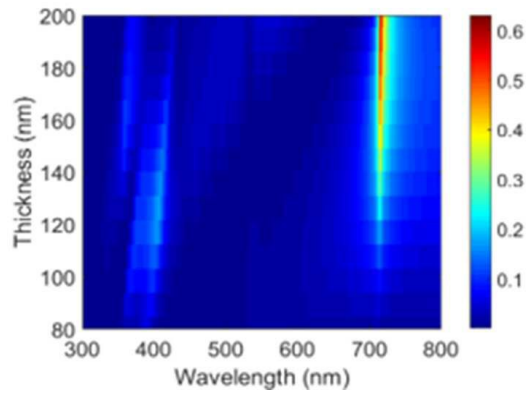
도면5a



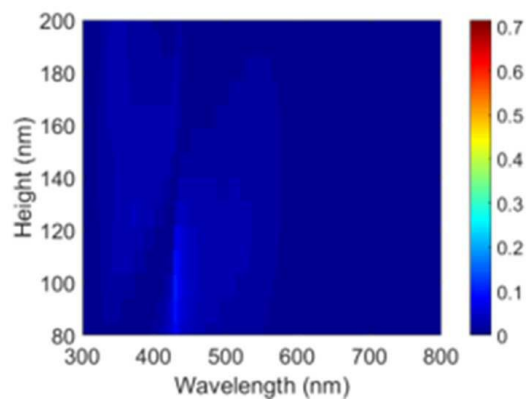
도면5b



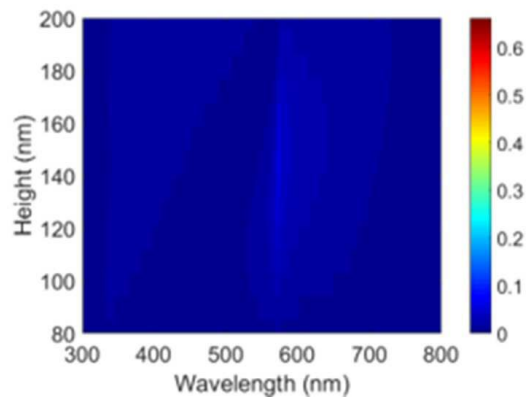
도면5c



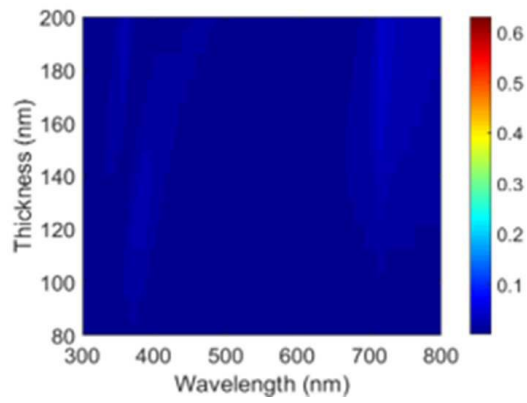
도면6a



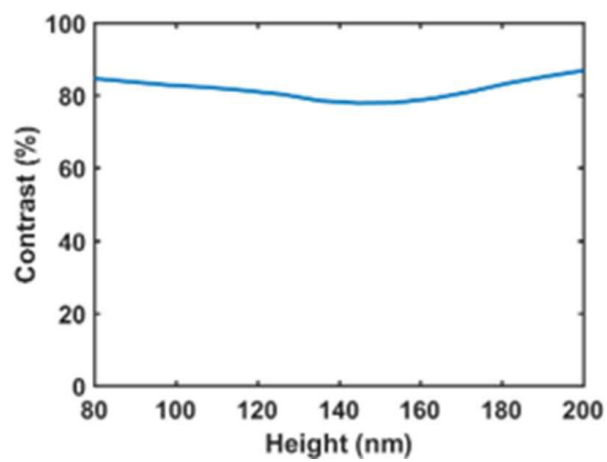
도면6b



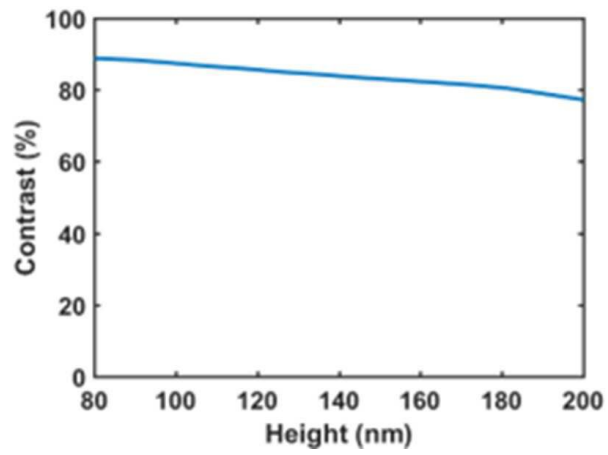
도면6c



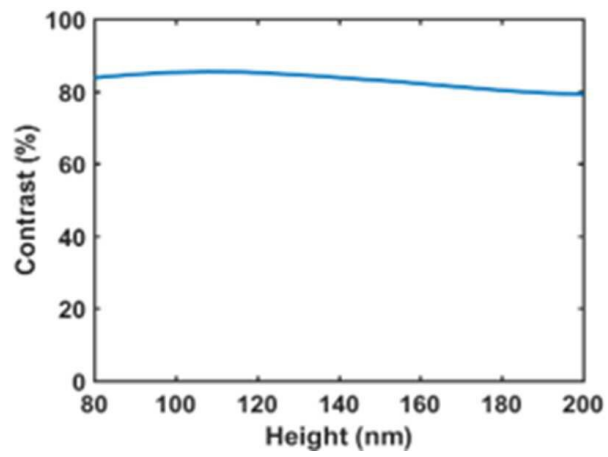
도면7a



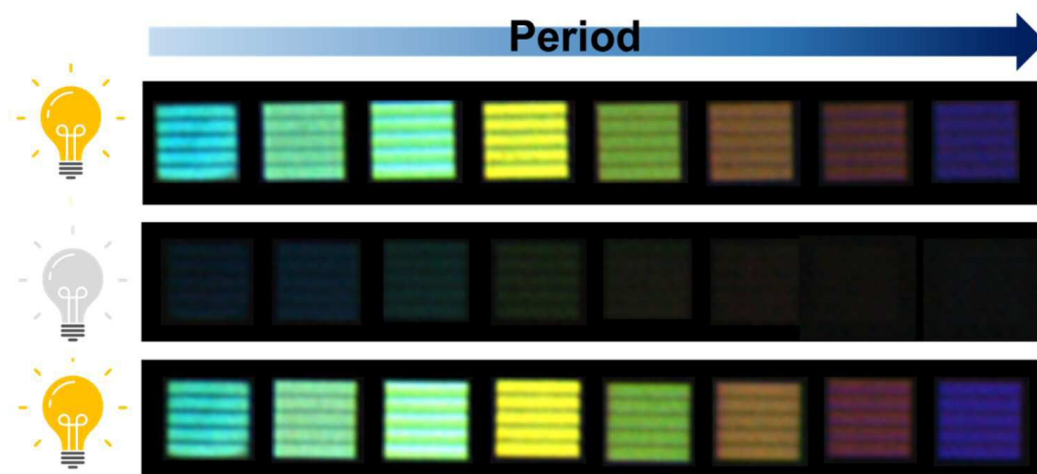
도면7b



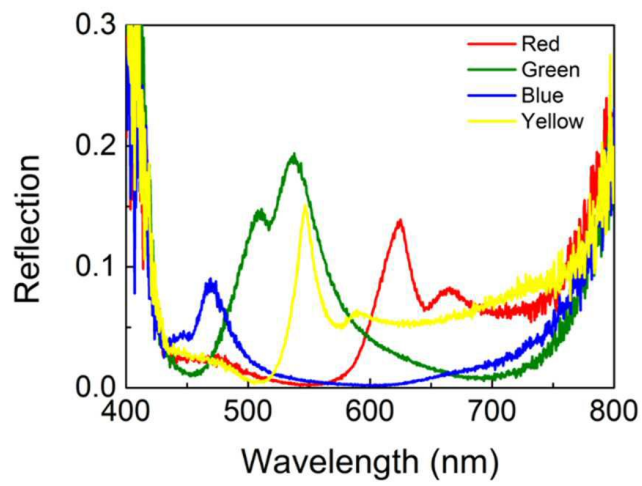
도면7c



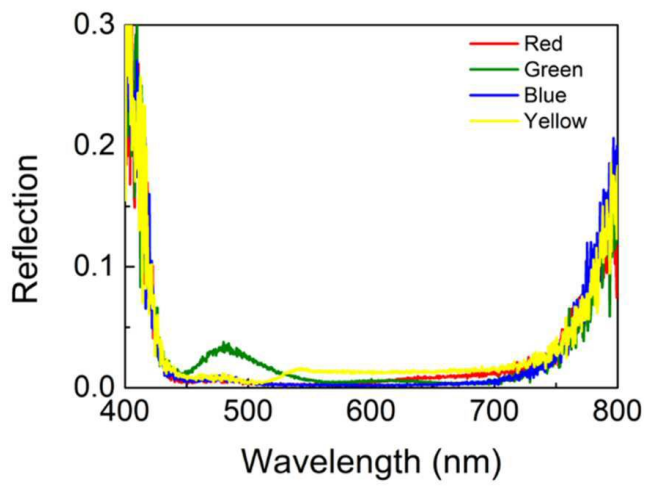
도면8



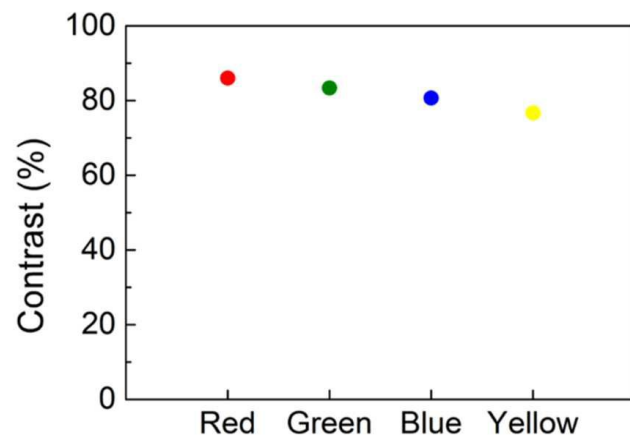
도면9a



도면9b



도면9c



도면10

