



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월24일

(11) 등록번호 10-2147599

(24) 등록일자 2020년08월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 1/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G02B 1/04 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0042288

(22) 출원일자 2019년04월11일

심사청구일자 2019년04월11일

(56) 선행기술조사문헌

JP2014178121 A*

KR1020180028169 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

박철민

서울특별시 서초구 서초대로33길 22, 201동 605호 (방배동, 방배2차이편한세상)

강한솔

서울특별시 성북구 길음로13길 22, 702동 1602호 (길음동, 길음7구역 두산위브아파트)

(74) 대리인

김권석

전체 청구항 수 : 총 13 항

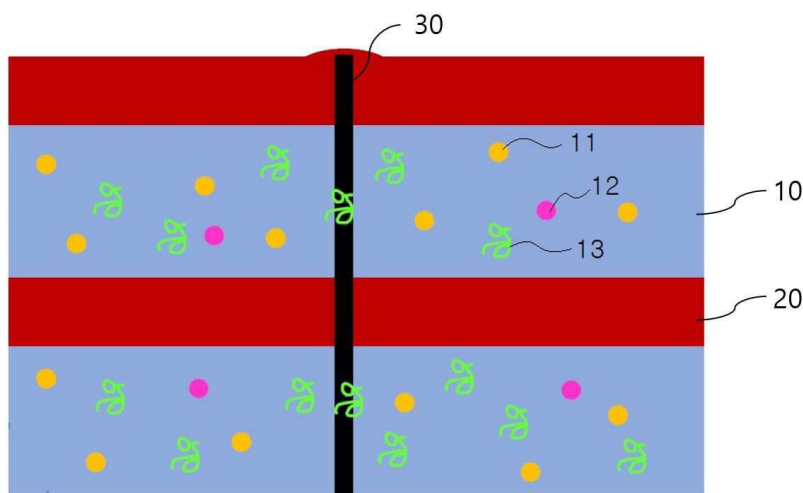
심사관 : 이정호

(54) 발명의 명칭 광결정 구조체 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 광결정 구조체 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체는 소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 라멜라 구조를 갖는 소수성-친수성 블록 공중합체; 상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 광가교 결합된 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성하는 하이드로겔 물질; 및 상기 블록 공중합체 내에 두께 방향으로 형성되며, 상기 광가교 결합된 하이드로겔 물질을 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 이송 채널을 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 라멜라 구조를 갖는 소수성-친수성 블록 공중합체;

상기 친수성 고분자 도메인 내에 친수성 고분자와 광가교 결합된 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성하는 하이드로겔 물질; 및

상기 블록 공중합체 내에 형성된 위상학적 결함(topological defect)을 포함하며, 상기 광가교 결합될 하이드로겔 물질을 상기 친수성 고분자 도메인으로 선택적으로 전달하는 이송 채널을 포함하는 광결정 구조체.

청구항 2

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 라멜라 구조를 갖는 소수성-친수성 블록 공중합체;

상기 친수성 고분자 도메인(의)내에 친수성 고분자와 광가교 결합된 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성하는 하이드로겔 물질; 및

상기 블록 공중합체 내에 형성된 위상학적 결함(topological defect)을 포함하며, 상기 광가교 결합될 하이드로겔 물질을 상기 친수성 고분자 도메인으로 선택적으로 전달하는 이송 채널을 포함하며,

상기 친수성 고분자 도메인으로 전달된 상기 하이드로겔 물질의 양에 의해, 상기 광결정 구조체의 초기 반사광의 파장이 결정되고,

상기 하이드로겔 물질의 양은 상기 광가교 결합의 정도에 의해 조절된 광결정 구조체.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 하이드로겔 물질의 양이 증가하거나 상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질 사이의 광가교 결합의 정도가 클수록 상기 초기 반사광은 적색 편이(red-shift)되는 광결정 구조체.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 위상학적 결함은 나사 전위(screw dislocation)이며,

상기 소수성-친수성 블록 공중합체는 자기조립 구조를 갖는 광결정 구조체.

청구항 5

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 라멜라 구조를 갖는 소수성-친수성 블록 공중합체;

상기 친수성 고분자 도메인(의)내에 친수성 고분자와 광가교 결합된 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성하는 하이드로겔 물질; 및

상기 블록 공중합체 내에 형성된 위상학적 결함(topological defect)을 포함하며, 상기 광가교 결합될 하이드로겔 물질을 상기 친수성 고분자 도메인으로 선택적으로 전달하는 이송 채널을 포함하며,

상기 광결정 구조체는 이온성 액체를 이용한 잉크젯 인쇄가 가능하며,

상기 잉크젯 인쇄된 이온성 액체는 상기 이송 채널을 통해 상기 IPN 구조를 갖는 친수성 고분자 도메인으로 1차

흡수되어, 상기 친수성 고분자 도메인을 국부적으로 팽창시킴으로써, 풀 컬러(full color)를 구현하는 광결정 구조체.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 친수성 고분자 도메인으로 1차 흡수된 이온성 액체가 상기 소수성-친수성 블록 공중합체 상에 배치되는 별도의 하이드로겔 블록에 의해, 상기 하이드로겔 블록으로 2차 흡수되어, 상기 광결정 구조체는 초기화되는 광결정 구조체.

청구항 7

제 1 항에 있어서

상기 소수성 고분자 도메인은 폴리스티렌, 폴리사이클로헥실에틸렌, 및 폴리메틸스티렌 중 어느 하나 이상이고,

상기 친수성 고분자 도메인은 폴리비닐피리딘, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리부틸아크릴레이트, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리락티드, 및 폴리하이드록시스티렌 중 어느 하나 이상이고,

상기 하이드로겔 물질은 폴리에틸렌 글리콜 다이아크릴레이트 (polyethylene glycol diacrylate, PEGDA), 젤라틴 메타크릴레이트(gelatin methacrylate, GelMA), 아크릴산, 아크릴아미드 및 N-아이소프로필아크릴아미드(N-isopropylacrylamide, NIPAAm)로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 또는 이들의 조합인 광결정 구조체.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 광가교 결합은 자외선(Ultraviolet: UV), 적외선(infrared), 가시광선, x선, 감마선 및 전파 중 어느 하나의 조사에 의해 수행되고,

상기 친수성 고분자 도메인 내에 상기 하이드로겔 물질과 함께 광개시제(photo initiator) 및 물(H₂O)를 더 포함하는 광결정 구조체.

청구항 9

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 위상학적 결함을 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 위상학적 결함을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하여 선택적으로 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 단계; 및

상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

청구항 10

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 위상학적 결함(topological defect)을 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 위상학적 결함을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하여 선택적으로 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 단계; 및

상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를

포함하며,

상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계는,

블록공중합체 전구체 용액을 준비하는 단계;

상기 블록공중합체 전구체 용액을 블록공중합체 박막이 형성되도록 스핀코팅하는 단계; 및

상기 블록공중합체 박막을 용매 어닐링(solvent annealing) 시키는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하는 단계는,

상기 하이드로겔 물질, 광개시제(photo initiator) 및 물(H₂O)을 포함하는 혼합용액을 준비하는 단계;

상기 혼합용액을 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체 상에 코팅하는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 코팅하는 단계는 담금(dipping), 도포(spreading), 브러싱(brushing), 나이프 코팅(knife coating), 롤링(rolling), 분사(spraying), 스핀코팅(spin coating), 스크린 프린팅(screen printing) 및 커튼코팅(curtain coating)을 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

청구항 13

제 1 항에 기재된 광결정 구조체를 준비하는 단계;

상기 광결정 구조체 상에, 이온성 액체 잉크를 사용하여 프린팅하는 단계를 포함하는 정보 표시 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광결정(photonic crystal) 기술에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 광결정 구조체 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 초고속 정보화 사회의 구현을 위하여 그 효율과 집적도 면에서 향상된 광전자 소자(photoelectronic device)에 대한 개발의 필요성이 증대되고 있으며, 이에 미시적인 공간에서 광자를 제어할 수 있는 광결정(photonic crystal)의 이용에 관심이 집중되고 있다. 상기 광결정은 물질의 굴절률을 주기적으로 변화시켜 특정 파장 대역의 전자기파가 전달되지 않는 광밴드갭(photonic band gap)을 갖는 물질로서, 광 필터, 마이크로 레이저, 전기 발광 소자, 광기전 소자, 광 스위치, 센서 등 다양한 광전자 소자에의 응용성을 가지고 있다.

[0004] 상기 광결정을 제작하는 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 리소그래피(lithography), 이온빔 에칭(ion beam etching)과 같은 나노 미세 가공기술을 바탕으로 하는 탑-다운(top-down) 방식과 나머지 하나는 콜로이드 입자(colloidal particle)나 고분자 등의 물리적 또는 화학적 자기조립(self-assembly)을 이용하는 바텀-업(bottom-up) 방법이다.

[0005] 그러나, 상기 탑-다운 방식은 미세 가공기술을 이용하기 때문에 공정이 복잡하고, 고가의 광학 장비가

필요하며, 많은 비용이 소모되는 단점이 있다. 반면, 바텀-업 방식은 콜로이드 입자를 제어하기 어려운 문제가 있고, 하나의 물질에 의하여 하나의 차단 대역(stop-band) 만을 나타낼 수 있는 한계가 있으므로, 다양한 광밴드갭을 갖는 광결정 구조체를 형성하기 위하여는 매년 다른 콜로이드 용액 또는 고분자를 이용하여 광결정을 성장 또는 생성시켜야 하는 번거로움이 있다.

[0006] 또한, 상기 자기조립을 이용하는 바텀-업 방법은 가시 거리(visible range)의 구조색을 부여하기 위해 팽윤제를 사용하기 때문에 주로 액상 상태에서 구조색 발현이 가능하다. 이로 인해, 광결정을 갖는 박막의 기계적 특성을 악화시켜서 광결정의 미세 구조를 변경하기 어려울 수 있으며, 동시 구조색의 기록 및 판독이 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 저비용으로 다양한 광밴드갭을 쉽게 표현할 수 있고, 기계적 특성을 유지하고, 광결정의 미세 구조를 쉽고 민감하게 변경할 수 있고, 가역성을 가지며, 빠른 반응 시간을 갖는 재기록(re-writable)이 가능한 광결정 구조체를 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는 전술한 이점을 갖는 광결정 구조체의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 라멜라 구조를 갖는 소수성-친수성 블록 공중합체; 상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 광가교 결합된 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성하는 하이드로겔 물질; 및 상기 블록 공중합체 내에 두께 방향으로 형성되며, 상기 광가교 결합된 하이드로겔 물질을 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 이송 채널을 포함하는 광결정 구조체가 제공될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달된 상기 하이드로겔 물질의 양에 의해, 상기 광결정 구조체의 초기 반사광의 파장이 결정되고, 상기 하이드로겔 물질의 양은 상기 광가교 결합의 정도에 의해 조절될 수 있다. 상기 하이드로겔 물질의 양이 증가하거나 상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질 사이의 광가교 결합의 정도가 클수록 상기 초기 반사광은 적색 편이(red-shift)될 수 있다. 상기 이송 채널은 나사 전위(screw dislocation)의 위상학적 결함(topological defect)이고, 상기 소수성-친수성 블록 공중합체는 자기조립 구조를 가질 수 있다. 상기 광결정 구조체는 이온성 액체를 이용한 잉크젯 인쇄가 가능하며, 상기 잉크젯 인쇄된 이온성 액체는 상기 이송 채널을 통해 상기 IPN 구조를 갖는 친수성 고분자 도메인으로 1차 흡수되어, 상기 친수성 고분자 도메인을 국부적으로 팽창시킴으로써, 풀 컬러(full color)를 구현할 수 있다. 상기 친수성 고분자 도메인으로 1차 흡수된 이온성 액체가 상기 소수성-친수성 블록 공중합체 상에 배치되는 별도의 하이드로겔 블록에 의해, 상기 하이드로겔 블록으로 2차 흡수되어, 상기 광결정 구조체는 초기화될 수 있다. 상기 소수성 고분자 도메인은 폴리스티렌, 폴리사이클로헥실에틸렌, 및 폴리메틸스티렌 중 어느 하나 이상이고, 상기 친수성 고분자 도메인은 폴리비닐피리딘, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리부틸아크릴레이트, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리락티드, 및 폴리하이드록시스티렌 중 어느 하나 이상이고, 상기 하이드로겔 물질은 폴리에틸렌 글리콜 다이아크릴레이트(polyethylene glycol diacrylate, PEGDA), 젤라틴 메타크릴레이트(gelatin methacrylate, GelMA), 아크릴산, 아크릴아미드 및 N-아이소프로필아크릴아미드(N-isopropylacrylamide, NIPAAm)로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 또는 이들의 조합일 수 있다. 상기 광가교 결합은 자외선(Ultraviolet: UV), 적외선(infrared), 가시광선, x선, 감마선 및 전파 중 어느 하나의 조사에 의해 수행되고, 상기 친수성 고분자 도메인 내에 상기 하이드로겔 물질과 함께 광개시제(photo initiator) 및 물(H₂O)를 더 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 이송 채널을 포함하는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및 상기 이송 채널을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하는 단계; 및 상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법이 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계는, 블록공중합체 전구체 용액을 준비하는 단계; 상기 블록공중합체 전구체 용액을 블록공중합체 박막이 형성되도록 스핀코팅하는 단계; 및 상기 블록공중합체 박막을 용매 어닐링(solvent annealing) 시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하는 단계는, 상기 하이드로겔 물질, 광개시제(photo

initiator) 및 물(H₂O)을 포함하는 혼합용액을 준비하는 단계; 상기 혼합용액을 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체 상에 코팅하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 코팅하는 단계는 담금(dipping), 도포(spreading), 브러싱(brushing), 나이프 코팅(knife coating), 롤링(rolling), 분사(spraying), 스핀코팅(spin coating), 스크린 프린팅(screen printing) 및 커튼코팅(curtain coating)을 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 제 1 항에 기재된 광결정 구조체를 준비하는 단계; 상기 광결정 구조체 상에, 이온성 액체 잉크를 사용하여 프린팅하는 단계를 포함하는 정보 표시 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명의 실시예에 따르면, 소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체 내에 수직 관통하여, 광가교 결합될 하이드로겔 물질을 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 이송 채널을 포함함으로써, 저비용으로 다양한 광밴드갭을 쉽게 표현할 수 있고, 가역성을 가지며, 빠른 반응 시간을 갖는 재기록(re-writable)이 가능한 광결정 구조체를 제공할 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 전술한 이점을 갖는 광결정 구조체의 제조 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 제조 방법을 나타내는 순서도이며, 도 3 및 도 4a 내지 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 제조 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 단면도를 보여주는 TEM 이미지이며, 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 6a 내지 도 6c의 광결정 구조체에 대한 GISAXS(Grazing-incidence small-angle scattering) 결과를 보여주는 그래프이다

도 7a는 자외선 노출 시간에 따른 광결정 구조체의 광 밴드 갭을 측정하기 위한 US-vis 분광 광도계 실험 결과이며, 도 7b는 자외선 노출 시간에 따른 차단 대역(stop band)의 변화를 보여주는 그래프이고, 도 7c는 상기 광결정 구조체에 의하여 표현된 색상 이미지이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조체의 기계적 특성을 보여주는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 제조하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 10a는 본 발명의 실시예에서 따른 광결정 구조체 상에 잉크젯 인쇄되는 개념을 보여주는 도면이며, 도 10b는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크의 농도 변화에 따라 이온성 액체 잉크로 인쇄된 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 UV-vis 스펙트럼을 보여주는 그래프이고, 도 10c는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크의 농도 변화에 따라 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 차단 대역(stop band) 위치를 나타내는 그래프이고, 도 10d는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크로 인쇄된 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체의 이미지이고, 도 10e 및 도 10f는 본 발명의 실시예에 따른 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 광결정 구조체 상에 잉크젯 인쇄된 이미지이다.

도 11a는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조체의 쓰기 및 소거의 반복적인 사용을 보여주는 도면이며, 도 11b는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크 및 하이드로 겔 블록을 사용하여 반복적으로 쓰기 및 소거된 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 이미지를 보여주는 도면이고, 도 11c는 이온성 액체 잉크 및 하이드로 겔 블록을 사용하여 반복적으로 쓰기 및 소거된 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 UV-vis 스펙트럼을 보여주는 도면이고, 도 11d는 쓰기 및 소거의 반복적인 사이클에 따른 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 차단 대역(stop band)의 위치를 보여주는 그래프이고, 도 11e는 이온성 액체 잉크가 서서히 주입된 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 UV-vis 스펙트럼이고, 도 11f 내지 도 11h는 광결정 구조체의 이미지이고, 도 11i는 색상의 혼합을 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명은 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형되는 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발

명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

- [0020] 또한, 이하의 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이며, 도면상에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는" 는 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.
- [0021] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 단수 형태는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 경우 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 하나 이상의 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.
- [0022] 본 명세서에서 층 또는 다른 층 "상에(on)" 형성된 층에 대한 언급은 상기 층 또는 다른 층의 바로 위에 형성된 층을 지칭하거나, 상기 층 또는 다른 층 상에 형성된 중간 층 또는 중간 층들 상에 형성된 층을 지칭할 수도 있다. 또한, 당해 기술 분야에서 숙련된 자들에게 있어서, 다른 형상에 "인접하여(adjacent)" 배치된 구조 또는 형상은 상기 인접하는 형상에 중첩되거나 하부에 배치되는 부분을 가질 수도 있다.
- [0023] 본 명세서에서, "아래로(below)", "위로(above)", "상부의(upper)", "하부의(lower)", "수평의(horizontal)" 또는 "수직의(vertical)"와 같은 상대적 용어들은, 도면들 상에 도시된 바와 같이, 일 구성 부재, 층 또는 영역들이 다른 구성 부재, 층 또는 영역과 갖는 관계를 기술하기 위하여 사용될 수 있다. 이들 용어들은 도면들에 표시된 방향 뿐 아니라 소자의 다른 방향들도 포괄하는 것임을 이해하여야 한다.
- [0024] 이하에서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들(및 중간 구조들)을 개략적으로 도시하는 단면도들을 참조하여 설명될 것이다. 이들 도면들에 있어서, 예를 들면, 부재들의 크기와 형상은 설명의 편의와 명확성을 위하여 과장될 수 있으며, 실제 구현시, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 된다. 또한, 도면의 부재들의 참조 부호는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부재를 지칭한다.
- [0025]
- [0026] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 광결정 구조체의 단면도를 나타내는 것이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 광결정 구조체(100)는 서로 다른 고분자 물질들을 포함하는 블록 공중합체(block copolymer: BCP)를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 블록 공중합체(BCP)는 친수성 고분자 도메인(10)과 소수성 고분자 도메인(20)이 교대로 반복되는 라멜라 구조를 가질 수 있다. 친수성 고분자 도메인(10)과 소수성 고분자 도메인(20)은 각각 친수성 고분자와 소수성 고분자로 우세하게 점유된 영역을 지칭할 수 있다. 일 실시예에서 상기 블록 공중합체(BCP)는 자기조립 구조를 가질 수 있다.
- [0028] 일 실시예에서, 광결정 구조체(100)는 상기 블록 공중합체(BCP) 내에 두께 방향으로 형성되며, 광가교 결합될 하이드로겔 물질(13)을 친수성 고분자 도메인(10)으로 전달하는 이송 채널(30)을 포함할 수 있다. 이송 채널(30)은, 라멜라 구조의 광결정 구조체(100)에서 나타나는 위상학적 결함(topological defect)에 의해 제공될 수 있다. 상기 위상학적 결함은 칼날 전위(edge dislocation), 나선 전위(screw dislocation) 또는 혼합 전위(mixed dislocation)일 수 있다. 바람직하게, 본원 발명에서, 이송 채널(30)은 나선 전위일 수 있다.
- [0029] 이송 채널(30)을 통해 하이드로겔 물질(13)이 친수성 고분자 도메인(10)으로 전달됨으로써, 친수성 고분자 도메인(10)의 친수성 고분자와 하이드로겔 물질(13)이 광가교 결합하여, 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성할 수 있다. 상기 IPN는 두 가교 고분자의 네트워크가 물리적으로 서로 얽혀 있어서, 내약품성, 내용제성, 내열성의 가교 고분자의 특성과 물성의 상승효과 또는 양친성(amphiphilicity)의 고분자 블렌드의 특성을 갖는다. 또한, 상기 IPN의 모폴로지는 합성과정 중 합성조건의 변경(예컨대, 합성온도, 압력, 촉매농도, 용매, 가교밀도)이 가능하며 고분자 블렌드, 블록 공중합체와는 달리 한번 형성된 모폴로지는 가교 구조 사이의 물리적 얽힘 때문에 유지될 수 있다.
- [0030] 친수성 고분자 도메인(10)에 하이드로겔 물질(13)을 광가교시킬 경우 별도의 용매에 의한 팽윤 없이도 가시광 영역의 반사광을 유지시킬 수 있기 때문에 액상의 팽윤 없이 고상형의 광결정 구조를 형성할 수 있다. 종래의 블록 공중합체를 이용하여 광결정을 형성할 경우, 용매에 친수성 고분자 도메인이 팽윤이 되지 않으면 가시광 영역에 반사광을 가질 수 없거나 또는 고 분자량의 블록 공중합체를 자기조립하여 in-plane 라멜라 구조를 형성해야 하기 때문에 광결정을 형성하기 어려울 수 있다.

- [0031] 일 실시예에서, 친수성 고분자 도메인(10)은 전달된 하이드로겔 물질(13)의 양에 의해, 광결정 구조체(100)의 초기 반사광의 파장이 결정될 수 있으며, 친수성 고분자 도메인(10)이 함유하는 하이드로겔 물질(13)의 양은 상기 광가교 결합의 정도에 의해 조절될 수 있다. 구체적으로, 하이드로겔 물질(13)의 양이 증가하거나 친수성 고분자 도메인(10)의 친수성 고분자와 하이드로겔 물질(13) 사이의 광가교 결합의 정도가 클수록 광결정 구조체(100)의 초기 반사광은 적색 편이(red-shift)되어 적외선 영역에 나타날 수 있다.
- [0032] 일 실시예에서, 친수성 고분자 도메인(10)은 친수성 고분자 도메인(10)의 친수성 고분자와 하이드로겔 물질(13)의 광가교 결합을 촉진하기 위하여 광개시제(12) 및/또는 물(H₂O)(11)를 더 포함할 수 있으며, 광개시제와 물을 하이드로겔 물질(13)과 혼합하여 함께 이송 채널(30)을 통해 주입될 수도 있다. 또는, 하이드로겔 물질(13) 광개시제(12)와 물(11)이 랜덤하게 또는 기순서로 순차적으로 이송 채널(30)을 통해 주입될 수 있다.
- [0033] 일 실시예에서, 광결정 구조체(100)는 라멜라 구조의 폴리스티렌(polystyrene)-폴리비닐피리딘(poly(vinylpyridine)) 공중합체, 폴리스티렌-폴리메틸메타크릴레이트(poly(methylmethacrylate)) 공중합체, 폴리스티렌-폴리(t-부틸아크릴레이트)(poly(tert-butylacrylate)) 공중합체, 폴리아이소프렌(polyisoprene)-폴리(에틸렌옥사이드)(poly(ethyleneoxide)) 공중합체, 폴리스티렌-폴리락티드(polylactide) 공중합체, 폴리사이클로헥실에틸렌(poly(cyclohexylethylene))-폴리락티드 공중합체, 또는 폴리메틸스티렌(polymethylstyrene)-폴리하이드록시스티렌(polyhydroxystyrene) 공중합체일 수 있으나, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 폴리비닐피리딘, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리(t-부틸아크릴레이트), 폴리(에틸렌옥사이드), 폴리락티드, 및 폴리하이드록시스티렌 중 어느 하나 이상은 친수성 고분자가 우세한 친수성 고분자 도메인(10)에 포함될 수 있고, 폴리스티렌, 폴리아이소프렌, 폴리사이클로헥실에틸렌, 및 폴리메틸스티렌 중 어느 하나 이상은 소수성 고분자가 우세한 소수성 고분자 도메인(20)에 포함될 수 있다.
- [0034] 일 실시예에서, 하이드로겔 물질(13)은 폴리에틸렌 글리콜 다이아크릴레이트 (polyethylene glycol diacrylate, PEGDA), 젤라틴 메타크릴레이트(gelatin methacrylate, GelMA), 아크릴산, 아크릴아미드 및 N-아이소프로필아크릴아미드(N-isopropylacrylamide, NIPAAm)로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 또는 이들의 혼합물일 수 있다.
- [0035] 광개시제(12)는 히드록시케톤, 벤조페논, 아실 포스핀 옥시드, 페닐글리옥살레이트, 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있고, 물(11)은 증류수 일 수 있다. 그러나, 본 발명은 이들 재료에 한정되지 않는다.
- [0036] 본 발명의 일실시예에 따른 광결정 구조체(100)가 갖는 반사광의 파장은, 친수성 고분자 도메인(10)으로 전달된 하이드로겔 물질(13)의 양 및 상기 친수성 고분자와 광가교된 하이드로겔 물질(13)의 경화 시간 정도에 의해 제어될 수 있다.
- [0037] 상기 광가교 결합은 자외선(Ultraviolet: UV), 적외선(infrared), 가시광선, x선, 감마선 및 전파 중 어느 하나의 조사에 의해 수행될 수 있다. 바람직하게, 본 발명의 실시예는 자외선(Ultraviolet: UV)에 의해 가교 결합이 수행될 수 있다.
- [0038] 일 실시예에서, 광결정 구조체(100)는 이온성 액체 또는 물을 이용한 잉크젯 인쇄가 가능하며, 상기 잉크젯 인쇄된 이온성 액체는 이송 채널(30)을 통해 IPN 구조를 갖는 친수성 고분자 도메인(10)으로 1차 흡수되어, 친수성 고분자 도메인(10)을 국부적으로 팽창시킴으로써, 풀 컬러(full color)를 구현할 수 있다. 친수성 고분자 도메인(10)으로 1차 흡수된 이온성 액체가 상기 블록 공중합체(BCP) 상에 배치되는 별도의 하이드로겔 블록(미도시함)에 의해, 상기 하이드로겔 블록으로 2차 흡수되어, 광결정 구조체(100)는 초기화되어, 원래 초기 반사광을 갖는다.
- [0039] 일 실시예에서, 상기 광가교 결합에 의해 결정된 광결정 구조체(100)의 초기 반사광(또는 1차 반사광)은 가시광 영역에서 1차 피크(peak)으로 나타나며, 상기 이온성 액체 또는 물이 친수성 고분자 도메인(10)로 추가 주입함에 따라서, 상기 1차 피크가 적색 편이(red shifted)되어 적외선(IR) 영역으로 이동하게 될 수 있다. 또한, 상기 1차 피크가 적색 편이(red shifted)되어 적외선(IR) 영역으로 이동함에 따라 2차 피크 및 3차 피크, ..., n차 피크가 가시광 영역에서 나타나며, 이때 광결정 구조체(100)는 제 2 반사광을 가질 수 있다.
- [0040] 일 실시예에서, 상기 이온성 액체는 EMIBF₄, EMITFSI, 에틸메틸이미다졸리움 클로라이드(EMIM Cl), 에틸메틸이미다졸리움 디시아나미드(EMIM DCA), 에틸메틸이미다졸리움 트리플루오르메탄설포네이트(EMIM OtF), 에틸메틸이미다졸리움 트리플루오르메틸 설포닐이미드(EMIM TFSI), 에틸메틸이미다졸리움 아세테이트(EMIM Ac), 에틸메틸이미다졸리움 수화물(EMIM OH), 에틸메틸이미다졸리움 디에틸포스페이트(EMIM DEP), 에틸메틸이미다졸리움 메틸 카보네이트(EMIM MeOCO₂), 에틸메틸이미다졸리움 락테이트(EMIM Lactate), 부틸메틸이미다졸리움 클로라이드(BMIM Cl), 부틸메틸이미다졸리움 메틸카보네이트 용액(BMIM MeOCO₂), 부틸메틸이미다졸리움 트리플루오르메탄

설폰네이트(BMIM Otf), 부틸메틸이미다졸리움 트리플루오르메틸설폰네이트(EMIM TFSI), 부틸메틸이미다졸리움 트리플루오르아세테이트(BMIM CF₃CO₂) 및 디메틸이미다졸리움 메탄설폰네이트(MMIM CH₃SO₃) 중 어느 하나일 수 있다.

[0042] 잉크젯 인쇄와 결합된 자기조립 블록 공중합체의 광결정 구조체를 기반으로 폴 컬러, 재기록 가능한 반사 모드 디스플레이가 제공될 수 있다. 이온성 액체 잉크가 하이드로 겔 중합체의 광과 결합된 IPN를 포함하는 라멜라 구조로 교대로 구성된 고체 상태의 1 차원 자기조립 블록 공중합체의 광결정 구조체 상에 잉크젯 인쇄함으로써, 고해상도의 폴 구조색 이미지를 인쇄할 수 있다. IPN 구조를 갖는 친수성 고분자 도메인(10)으로 이온성 액체 잉크를 분사할 시에 친수성 고분자 도메인(10)의 국부적인 팽창이 일어나 다양한 폴 컬러 구조색 이미지를 형성할 수 있다. 또한, 자기조립 블록 공중합체의 광결정 구조체(100) 상에 별도의 하이드로 겔 블록층을 배치하면, 광결정 구조체(100)로부터 이온성 액체가 완전히 제거되어 초기화될 수 있다. 이어서 잉크젯 인쇄를 통해 광결정 구조체(100) 상에 다시 구조색을 발현시킴으로써, 비휘발성 정보 저장 및 디스플레이를 위한 다양한 용도에 적합한 유연하며 재기록이 가능한 자기조립 블록 공중합체의 광결정 구조체 디스플레이로 구현할 수 있다.

[0043] 또한, 본 발명에서 휘발성이 거의 없는 이온성 액체 잉크가 초기 자기조립 블록 공중합체(BCP)를 갖는 광결정 구조체의 기계적 특성에 미치는 영향이 미미하도록 적은 양으로 B, G에서 R 범위의 전체 구조색을 위한 자기조립 블록 공중합체의 광결정의 미세 구조를 쉽고 민감하게 변경할 수 있다. 또한, 동시 기록 및 구조색 판독 기능을 갖춘 유연하고 재기록 가능한 자기조립 블록 공중합체 구조색 잉크젯 디스플레이로 활용될 수 있다.

[0044] 본 발명의 일실시예에 따른 광결정 구조체(100)는, 잉크젯 프린팅 장치(미도시함)와 같은 프린팅 장치에서 이용될 수 있다. 상기 잉크젯 프린팅 장치는 이미지 또는 문자를 출력하고자 하는 이미지 출력층으로서 광결정 구조체(100)를 사용하고, 소정의 위치에 소정의 발광 파장을 결정하기 위한 하이드로겔 물질(13), 광개시제 및 물을 포함하는 혼합 용액을 상기 잉크젯 프린팅 장치의 노즐을 이용하여 광결정 구조체(100)의 원하는 위치에 프린팅할 수 있다. 일 실시예에서, 광결정 구조체(100)은 기관과 일체화되어 있을 수 있으며, 별도의 기관 상에 형성될 수 있다.

[0045] 상기 프린팅된 상기 혼합 용액은 친수성 고분자 도메인(10)에 흡수되어 상기 친수성 고분자의 일부와 결합 반응을 수행할 수 있으며, 상기 결합 반응으로 인하여 광결정 구조체(100)으로부터 반사되는 광의 파장을 결정할 수 있다. 상기 혼합 용액은 친수성 고분자 도메인(10) 중 일부 고분자 도메인에서만 결합 반응이 진행될 수 있다.

[0046] 일 실시예에서, 상기 혼합 용액은 친수성 고분자 도메인(10)과만 결합 반응을 수행할 수 있다. 상기 결합 반응은 가교 반응, 공유 결합, 이온 결합 또는 수소 결합 일 수 있으며, 바람직하게는 가교 반응(cross-link) 또는 공유결합 일 수 있다.

[0048] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 광결정 구조체의 제조 방법을 나타내는 순서도이며, 도 3 및 도 4a 내지 도 4b는 광결정 구조체의 제조 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0049] 도 2 및 도 3를 참조하면, 광결정 구조체의 제조 방법은 소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 이송 채널을 포함하는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계(S10); 및 상기 이송 채널을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하는 단계(S20); 및 상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계(S30)를 포함할 수 있다.

[0050] 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계(S10)는, 먼저 친수성 고분자, 소수성 고분자 및 분산 용매를 함유한 블록 공중합체 전구체 용액을 준비하는 단계, 상기 블록공중합체 전구체 용액을 블록공중합체 박막이 형성되도록 스핀코팅하는 단계 및 상기 블록공중합체 박막을 용매 어닐링(solvent annealing) 시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 친수성 고분자는 사차화(quaternize)된 결합기를 갖고 벤젠 고리 중 탄소가 수소 결합에 용이한 질소 원자로 치환된 피리딘(pyridine)을 갖는 고분자일 수 있고, 상기 소수성 고분자는 폴리스티렌일 수 있다. 바람직하게는, 상기 친수성 고분자는 쿼터나이즈드-폴리-2-비닐피리딘(quaternized Poly 2vinyl pyridine: QP2VP)일 수 있고, 상기 소수성 고분자는 폴리스티렌(Polystyrene: PS)일 수 있다.

[0051] 상기 분산 용매는 지방족 또는 방향족 탄화수소(예를 들어, 헵탄, 톨루엔), 할로겐화 지방족, 방향족 탄화수소(예를 들어, 디클로로메탄, 브로모벤젠), 에테르(예를 들어, 디에틸 에테르), 알코올 중 어느 하나 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 바람직하게는, 상기 분산 용매는 벤젠, 에탄올, 또는 PGMEA(Propylene glycol methyl ether acetate)일 수 있다.

- [0052] 일 실시예에서, 상기 분산 용매 하에 혼합된 상기 친수성 고분자 및 상기 소수성 고분자는 기판 상에 코팅 또는 프린팅되어 상기 블록공중합체 박막을 형성할 수 있다. 상기 코팅 또는 프린팅 방법은 스핀 코팅, 스프레이 코팅, 딥 코팅(dip coating), 스크린 프린팅, 잉크젯 프린팅, 진공여과, 합침 코팅, 도포 코팅, 드롭 캐스팅(drop casting), 또는 닥터 블레이드(doctor blade)와 같은 방법일 수 있다.
- [0053] 상기 친수성 고분자 및 상기 소수성 고분자에 포함된 상기 관능기에 의하여 결합하여 자기 조립될 수 있다. 상기 자기 조립된 광결정 구조체(100)은 상기 친수성 고분자 도메인과 상기 소수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가질 수 있다. 상기 블록 공중합체는 폴리스티렌-폴리비닐피리딘 공중합체, 폴리스티렌-폴리메틸메타크릴레이트 공중합체, 폴리스티렌-폴리(t-부틸아크릴레이트) 공중합체, 폴리אי소프렌-폴리(에틸렌옥사이드) 공중합체, 폴리스티렌-폴리락티드 공중합체, 폴리사이클로헥실에틸렌-폴리락티드 공중합체, 또는 폴리메틸스티렌-폴리하이드록시스티렌 공중합체일 수 있다. 바람직하게는 상기 블록 공중합체는 폴리스티렌-퀴터나이즈드-폴리비닐피리딘 공중합체(PS-b-QP2VP)일 수 있다.
- [0054] 상기 친수성 고분자와 상기 소수성 고분자가 차례로 교번하며 적층되며, 이송 채널(예: 나사 전위(screw dislocation))을 포함하는 라멜라 구조(Lamellar Structure)의 블록 공중합체가 형성될 수 있으며, 이후, 어닐링(annealing) 단계가 선택적으로 수행될 수 있다. 상기 어닐링 단계는 열 어닐링(thermal annealing)법 또는 용매 어닐링(solvent annealing)법을 사용하여 수행될 수 있다.
- [0055] 상기 어닐링 과정에서 상기 혼합 용액 내의 상기 친수성 고분자와 상기 소수성 고분자의 반복 정렬 정도가 크게 향상되는 광결정 구조체(100)이 형성될 수 있다. 상기 광결정 구조체(100) 내의 상기 친수성 고분자 도메인 및 상기 소수성 고분자 도메인의 반복 정렬 구조는 상기 광결정 구조체(100) 내에 함유된 상기 친수성 고분자와 상기 소수성 고분자의 부피 분율에 따라 라멜라 구조, 실린더 구조 또는 구형 구조를 가질 수 있다. 바람직하게는, 상기 광결정 구조체(100) 내에 상기 친수성 고분자 블록과 상기 소수성 고분자 블록이 서로 비슷한 부피 분율을 가질 수 있고, 이에 따라 상기 광결정 구조체(100) 내의 상기 친수성 고분자 도메인과 상기 소수성 고분자 도메인이 라멜라 구조로 반복 정렬될 수 있다.
- [0056] 도 4a를 참조하면, 일 실시예에서 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 선택적으로 주입하는 단계(S20)는, 하이드로겔 물질, 광개시제(photo initiator) 및 물(H₂O)을 포함하는 혼합 용액을 준비하는 단계 및 상기 혼합 용액을 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체 상에 코팅하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 코팅하는 단계는 담금(dipping), 도포(spreading), 브러싱(brushing), 나이프 코팅(knife coating), 롤링(rolling), 분사(spraying), 스핀코팅(spin coating), 스크린 프린팅(screen printing) 및 커튼코팅(curtain coating) 중 어느 하나에 의해 수행될 수 있다. 이때, 상기 혼합 용액 내의 물에 의해 상기 친수성 고분자 도메인들이 팽윤되어, 광결정 구조체는 제 1 색상에 대응하는 차단 대역(stop band) 특성을 가질 수 있다.
- [0057] 일 실시예에서, 상기 하이드로겔 물질은 폴리에틸렌 글리콜 다이아크릴레이트 (polyethylene glycol diacrylate, PEGDA), 젤라틴 메타크릴레이트(gelatin methacrylate, GelMA), 아크릴산, 아크릴아미드 및 N-아이소프로필아크릴아미드(N-isopropylacrylamide, NIPAAm)로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 그러나, 본 발명은 이들 재료에 한정되지 않는다.
- [0058] S30 단계 이후에, 선택적으로 상기 광결정 구조체를 건조하는 단계가 더 포함될 수 있다. 상기 건조 단계를 통해, 상기 하이드로겔 물질에 의해 주입된 수분이 제거될 수 있으며, 이로 인해 광결정 구조체는 경화될 수 있다.
- [0059] 일 실시예에서, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 선택적으로 주입하는 단계(S20)에서, 상기 혼합 용액의 일부가 상기 친수성 고분자 도메인으로 선택적으로 주입되고, 상기 혼합 용액의 다른 일부는 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체의 표면 상에 하나의 블록층이 형성될 수도 있다. 상기 블록층의 표면과 내부의 팽창 비율이 다르기 때문에, 상기 블록층은 건조 단계에서, 스트레스에 의해 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체로부터 박리될 수도 있다.
- [0060] 도 4b를 참조하면, 일 실시예에서 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체 내에 친수성 고분자 도메인(예: P2VP)으로 선택적으로 상기 하이드로겔 물질(예: PEGDA)이 주입된 후에, 상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체가 자외선(UV)에 노출되는 경우(S30단계)에 PEGDA와 P2VP가 가교 결합되어, P2VP 내에 가교 결합된 PEGDA를 포함하는 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조가 형성될 수 있다.
- [0062] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 광결정 구조체(100) 상에 상기 광결정 구조체(100) 중 적어도 일부와 결합하여 상기 광결정 구조체(100)의 반사 광의 파장을 변경시킬 수 있는 상기 하이드로겔 물질, 광개시제(photo

initiator) 및 물(H₂O)을 포함하는 혼합 용액을 프린팅할 수 있다. 상기 혼합 용액은 상기 광결정 구조체(100) 중 어느 한 도메인과 선택적으로 결합할 수 있다.

[0063] 또한, 상기 혼합 용액 및 상기 친수성 고분자 도메인의 적어도 일부 사이에 형성되는 상기 교차 결합은 광결정 삭제 물질을 상기 광결정 구조체(100) 상에 프린팅함으로써, 가역적으로 분해될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체는 상기 광결정 물질의 상기 교차 결합을 형성하였다가 상기 광결정 삭제 물질에 의하여 용이하게 상기 교차 결합을 분해하는 가역적인 반응이 가능하다. 그러므로, 상기 광결정 구조체(100)을 필름으로 이용하여 다양한 이미지를 디스플레이 하는 것이 가능하다.

[0064] 상기 광결정 삭제 물질은 브롬화수소, 염산, 요오드화수소 일 수 있고, 바람직하게는 브롬화수소일 수 있다. 상기 광결정 삭제 물질은 프린팅시 상기 광결정 구조체(100) 중 상기 친수성 고분자 도메인에 선택적으로 침투하여 상기 친수성 고분자 도메인 내에 형성된 상기 교차 결합을 분해하여 삭제할 수 있다. 이와 같이, 상기 교차 결합이 분해되는 경우, 일반적으로 상기 친수성 고분자 도메인에 의하여 반사되는 소정 파장의 광을 출력할 수 있다.

[0065] 이와 같이, 상기 광결정 구조체는 상기 친수성 고분자 도메인 내에서 상기 혼합 용액에 의하여 상기 친수성 고분자 간의 교차 결합이 빠르게 형성될 수 있을 뿐 아니라, 상기 교차 결합은 상기 광결정 삭제 물질에 의하여 가역적으로 분해가 가능하다. 그러므로, 본 발명의 일실시예에 따른 광결정 구조체는 다양한 광을 생성하기 위하여 반복적으로 사용할 수 있게 된다.

[0066] 도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 단면도를 보여주는 TEM 이미지이며, 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 5a 내지 도 5c의 광결정 구조체에 대한 GISAXS(Grazing-incidence small-angle scattering) 결과를 보여주는 그래프이다. 도 5a는 적색을 발산하는 IPN 구조를 갖는 광결정 구조의 단면도이고, 도 5b는 녹색을 발산하는 IPN 구조를 갖는 광결정 구조의 단면도이며, 도 5a는 파랑색을 발산하는 IPN 구조를 갖는 광결정 구조의 단면도이다.

[0067] 도 5a 내지 도 5c를 참조하면, 광결정 구조는 하이드로겔 물질(13)의 양 및 친수성 고분자와 광가교된 하이드로겔 물질(13)의 경화 정도에 의해 해당 반사광의 파장(예: 적색, 녹색, 파랑색)을 가질 수 있다. 더하여, 광결정 구조의 반사광은 이온성 액체 또는 물을 주입함으로써 추가 제어될 수 있다.

[0068] 도 6a를 참조하면, 투과율 모드에서 적색을 발산하는 IPN 구조의 광자 결정이 평면내에서 잘 형성되었음을 알 수 있고, 도 6b를 참조하면, 투과율 모드에서 녹색을 발산하는 IPN 구조의 광자 결정이 평면내에서 잘 형성되었음을 알 수 있고, 도 6c를 참조하면, 투과율 모드에서 파랑색을 발산하는 IPN 구조의 광자 결정이 평면내에서 잘 형성되었음을 알 수 있었다.

[0070] 본 발명의 일실시예에 따른 상기 광결정 구조체는 다양한 광 밴드갭을 갖는 파장을 반사시킬 수 있다. 도 7a 내지 도 7c는 자외선 노출 시간에 따른 광결정 구조체의 광 밴드 갭을 측정하기 위한 US-vis 분광 광도계 실험 결과 및 상기 광결정 구조체에 의하여 표현된 색상 이미지를 나타내는 것이다.

[0071] 도 7a 및 도 7b를 참조하면, 하이드로겔 물질을 친수성 고분자 도메인으로 선택적으로 주입한 후 자외선에 각각 10 sec, 20 sec, 30 sec, 40 sec, 60 sec 노출시킨 경우의 광결정 구조체의 반사 파장 값을 비교한 결과, 노출 시간이 증가할수록 최대 반사 파장 값은 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0072] 일 실시예에서는, 자외선에 10 sec 노출된 경우, 파장은 약 455 nm 이며, 자외선에 20 sec 노출된 경우, 파장은 약 510 nm 이며, 자외선에 40 sec 노출된 경우, 파장은 약 545 nm 이며, 자외선에 60 sec 노출된 경우, 파장은 약 560 nm 이며, 자외선에 노출된 시간이 길어질수록 약 570 nm에 수렴하여 적색 영역의 가시 광선을 반사할 수 있음을 알 수 있다.

[0073] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조체의 기계적 특성을 보여주는 그래프이다.

[0074] 도 8를 참조하면, 초기 구조색을 각각 적색, 녹색, 청색으로 갖는 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 유효 물성치는 300~500MPa 범위를 갖는다. 이온성 액체 잉크가 광결정 구조체 상에 인쇄된 후 이온성 액체가 흡수된 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체(IPN+IL)의 유효 물성치는 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체(IPN structure)와 유사하게 나타난다. 이는 다른 하이드로겔 기반의 광결정과는 달리, 가시 영역에서 색상 변화가 발생하더라도, 기계적 강도는 잘 유지되며, 이는 일반적으로 kPa 범위의 PEGDA 기반 광결정보다 훨씬 우수하다. 이러한 탁월한 기계적 특성으로 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체를 반도체 디스플레이에 적용할 수 있다.

- [0076] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체의 제조하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0077] 도 9를 참조하면, 교대로 평면내 정렬된 PS와 P2VP 라멜라 구조 도메인을 구성하는 대략 700nm 두께의 PS-b-P2VP 박막이 유리 기판상에 propylene glycol monomethyl acetate(PGMEA)로부터 스핀-코팅(spin coating)하여, 이후 PS-b-P2VP 박막은 정렬된 1 차원 광결정을 형성하기 위해 24 시간 동안 60 °C에서 클로로포름 증기를 이용한 용매 어닐링(solvent-annealing)을 수행함으로써 제조되었다. 다음, P2VP 층은 1-bromoethane/hexane solution 용액을 사용하여 24 시간 동안 4중화(quaternization)될 수 있다. 박막이 건조된 후, PEGDA/DI/2-Hydroxy-2methylpropiophenone(HOMPP)/triton-X 용액은 PS-b-P2VP 박막의 표면 상에 드롭 캐스팅되어 박막의 4 차화된 P2VP 도메인으로 흡수된다(PEGDA injection). 이후 흡수된 PEGDA 올리고머는 자외선 램프로 UV 경화된다(UV curing). 이후 선택적으로, PS-b-P2VP 박막의 표면 상에 경화된 PEGDA 올리고머는 제거되고(removal of top PEGDA), PS-b-P2VP 박막의 표면 또는 전체를 물로 세척(washing)한 후 건조(drying)시킬 수 있다. PS-b-P2VP의 광결정 구조체의 4 차화된 P2VP 도메인 내에서 PEGDA 체인들과 P2VP 체인들이 광가교 결합하여, 상호 침투 네트워크(interpenetrating polymer network: IPN) 구조를 형성할 수 있다.
- [0079] 도 10a는 본 발명의 실시예에서 따른 광결정 구조체 상에 잉크젯 인쇄되는 개념을 보여주는 도면이다.
- [0080] 도 10a를 참조하면, 잉크젯 인쇄는 종이에 폴 컬러 정보를 인쇄하는데 가장 유용하고 일반적으로 사용되는 인쇄 기술이며, 유리 상에 배치된 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체는 인쇄 이외의 다른 추가 공정없이 폴 컬러 정보를 패터닝 할 수 있는 잉크젯 인쇄가 가능하다.
- [0081] 도 10b는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크의 농도 변화에 따라 이온성 액체 잉크로 인쇄된 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 UV-vis 스펙트럼을 보여주는 그래프이고, 도 10c는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크의 농도 변화에 따라 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 차단 대역(stop band) 위치를 나타내는 그래프이다. 일시예에서, 이온성 액체 잉크로 인쇄되기 전 초기 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 광결정 구조체는 가시광 영역의 250 nm를 최대 반사광으로 가질 수 있다. 광결정 구조체의 QP2VP 도메인의 팽창 상태를 유지하며 초기 구조색을 변경하기 위해 PEGDA 같은 하이드로겔 물질에 대한 UV 노출의 다양한 시간을 사용할 수 있다. 광결정 구조체 상에 이온성 액체 잉크가 국부적으로 분사됨으로써, QP2VP 도메인은 국부적으로 팽창될 수 있다.
- [0082] 도 10b 및 도 10c를 참조하면, 이온성 액체 잉크(ionic liquid ink)에 의한 국소 팽창 정도는 이온성 액체 잉크의 농도에 따라 결정되며, 이온성 액체 잉크의 농도가 증가할수록 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체의 최대 반사의 파장의 적색 편이되는 것을 알 수 있다.
- [0083] 도 10d는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크로 인쇄된 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체의 이미지이다.
- [0084] 도 10d를 참조하면, 이온성 액체 잉크의 농도에 따라 반사된 구조색은 근적외선 영역(NIR)에서 가시 광선 영역 전체에서 적외선 영역으로 넓은 파장 범위를 통해 편리하게 제어될 수 있음을 보여준다.
- [0085] 도 10e 및 도 10f는 본 발명의 실시예에 따른 IPN 구조를 갖는 블록 공중합체의 광결정 구조체 상에 잉크젯 인쇄된 이미지이다. 도 10e는 RGB 패턴이 Si 웨이퍼 상의 IPN 구조화 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체에서 수행되었으며, 도 10f는 종이와 같은 기판으로 이동된 IPN 구조화 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체이다.
- [0086] 도 10e를 참조하면, Si 웨이퍼의 유리 반사로 인해 IPN 구조를 갖는 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체는 청색 색상이 나타나며, 도 10f를 참조하면, IPN 구조 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체는 브롬화 수소 용액에 담그면 기판과 쉽게 분리되어, IPN 구조를 갖는 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체는 종이와 같은 다른 기판으로 이동될 수 있다. 종이의 검은 배경으로 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체에서 금속과 같은 반사가 관찰되었다. 이처럼, IPN 구조를 갖는 블록 공중합체를 갖는 광결정 구조체의 표면 상에 이온성 액체 잉크를 패터닝하여 출력함으로써, 문자, 도형 또는 이미지 같은 다양한 형태를 구조색으로 나타낼 수 있다.
- [0088] EMITFSI 같은 이온성 액체 잉크가 인쇄된 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체는 적어도 140 °C까지 도메인 크기를 유지할 수 있으며, 이는 EMITFSI가 인쇄된 PEG-QP2VP 도메인이 온도에 안정하다는 것을 알 수 있다. 상기 이온성 액체로 인쇄된 IPN 구조를 갖는 자기조립 블록 공중합체(BCP)의 광결정 구조체는 열적으로 안정하는 것에 주목한다. IPN 구조의 고체 광결정 구조체는 이미 하이드로겔 물질에 의해 팽창된 상태이므로 잉크젯 인쇄로 매우 적은 양의 이온성 액체 잉크를 사용하여 입사광의 가시 범위를 반영할 수 있다. 대부분의 이

온성 액체는 습도 및 흡습성에 민감하므로, EMIM + TFSI-와 같이 물 분자와의 친화력이 적고 습기에 영향이 적은 이온성 액체가 잉크젯 인쇄에 적합하다.

[0089]

도 11a는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조체의 쓰기 및 소거의 반복적인 사용을 보여주는 도면이다.

[0090]

도 11a를 참조하면, 이온성 액체 잉크는 EMITFSI, 에틸알코올(EtOH) 및 DI의 농도로 조절되어 종래의 잉크젯 프린터와 같은 유사한 해상도를 가질 수 있다. 상기 이온성 액체 잉크를 사용하여 광결정 구조체에 인쇄된 정보는 비휘발성이며, 국부적이며, 풀 컬러를 가질 수 있다. 원하는 경우, EMITFSI 잉크로 인쇄된 정보는 완전히 팽창된 PEGDA 하이드로 겔 블록을 광결정 구조체의 표면에 접촉하여 소거될 수 있다. 광결정 구조체의 P2VP 도메인과 PEGDA 하이드로 겔 블록 사이의 이온 농도 기울기(concentration gradient)는 EMITFSI 이온을 PEGDA 하이드로 겔 블록으로 이동시킬 수 있다. 광결정 구조체를 건조시킨 후, 정보가 제거되어 재사용할 준비가 된다. IPN 구조를 갖는 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체에서 잉크의 흡윤성 및 이동성을 제어하기 위해 에탄올, 물 및 이온성 액체를 적절히 혼합하여 잉크 점도 및 접촉각을 조절할 수 있다. 미세 조정된 EMITFSI 잉크를 사용하여 기존의 잉크젯 프린터 및 RGB 풀 컬러 이미지로 거의 동일한 해상도의 이미지를 얻을 수 있다. 인쇄된 이미지의 구조색은 IPN 구조를 갖는 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 표면에 증착된 EMITFSI 액적의 양에 따라 달라질 수 있다.

[0091]

[0092]

종래의 멀티 잉크 카트리지 기반 잉크젯 인쇄보다 본 발명의 IPN 구조를 갖는 광결정 구조체는 블랙/그레이/화이트 대비가 있는 단일 이온성 액체 기반 잉크로 모든 RGB 패턴을 형성할 수 있다. 종래의 상업용 잉크젯 인쇄의 단점 중 하나는 한번 인쇄되면 용지를 재사용할 수 없다는 것이다. 반면에 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체는 이온 농도 기울기로 인해 이온성 액체 분자가 재배치될 수 있기 때문에 반복해서 기록 및 삭제할 수 있다. UV 경화된 PEGDA 하이드로 겔 블록을 적용하여 IPN 구조 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 나사 전위를 통해 하이드로 겔의 물 분자가 PEG-QP2VP 도메인으로 확산되고 이때 이온성 액체가 이온 농도 차이로 인해 하이드로 겔 블록에 흡수될 수 있다. 따라서, 반복적으로 가역적 쓰기 및 소거가 가능함으로써, 최대 반사율을 갖는 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체는 인쇄 정보 디스플레이 용으로 사용될 수 있다.

[0093]

도 11b는 본 발명의 실시예에 따른 이온성 액체 잉크 및 하이드로 겔 블록을 사용하여 반복적으로 쓰기 및 소거된 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 이미지를 보여주는 도면이다.

[0094]

도 11b를 참조하면, 이온성 액체 잉크 및 하이드로 겔 블록을 사용한 인쇄 및 삭제 프로세스가 성공적으로 수행되었음을 알 수 있다.

[0095]

도 11c는 이온성 액체 잉크 및 하이드로 겔 블록을 사용하여 반복적으로 쓰기 및 소거된 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 UV-vis 스펙트럼을 보여주는 도면이고, 도 11d는 쓰기 및 소거의 반복적인 사이클에 따른 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 차단 대역(stop band)의 위치를 보여주는 그래프이다.

[0096]

도 11c를 참조하면, 초기 차단 대역과 일치하는 광결정 구조체의 인쇄 및 삭제된 상태의 반사 피크를 보여주며, 도 11d를 참조하면, 다수의 소거 공정 후에 반사율의 최대 값의 약간의 변화를 갖는 것은 결정 구조체 내의 잔여 이온성 액체로 인한 것으로 보여진다.

[0097]

도 11e는 이온성 액체 잉크가 서서히 주입된 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 UV-vis 스펙트럼이고, 도 11f 내지 도 11h는 광결정 구조체의 이미지이고, 도 11i는 색상의 혼합을 보여주는 도면이다.

[0098]

도 11e 내지 도 11h를 참조하면, 이온성 액체 잉크를 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체로 주입하여 가시광선 영역(I 군) 이상으로 팽창시키면(II 군, III 군), 2 차 이상의 고차의 차단 대역 피크가 나타난다. 2차(적색) 및 3차(청색) 피크로 구성된 광의 첨가 혼합은 이온성 액체가 팽창된 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체는 자홍색 컬러를 가질 수 있다. 이처럼, 차단 대역의 가시 범위에 여러 피크가 있으면 IPN 구조의 자기조립 블록 공중합체(BCP) 광결정 구조체의 제어된 매우 비대칭인 라멜라 구조로 뛰어난 광자 결정 색상 혼합이 가능함을 알 수 있다.

[0100]

전술한 바와 같이, IPN 구조의 광자 결정의 경우, PS 층과 P2VP+하이드로겔 IPN 구조층의 비대칭(asymmetric) 구조로 인하여 1차 반사 피크가 가시광 영역에서 적외선(IR) 영역으로 적색 편이(red-shifted)되는 것이 가능하다. 이로 인해서, 2차, 3차, 4차 피크가 가시광 영역에 나타날 수 있으며, 차수가 높아질수록 피크 간 간격이 좁아지는 특성을 가지므로, 하나의 박막으로 가시광 영역에서의 색 혼합(color mixing)이 가능하며, 고차 피크

일 수록 더 높은 반사율을 갖는 광자 결정 제조가 가능하다.

[0101] 전술한 바와 같이, 본 발명은 자기조립 블록 공중합체의 광결정의 유전율뿐만 아니라 박막 형성 시 자발적으로 형성된 미세 구조가 전기의, 자성의, 열의 용매화 및 기계적 자극 같은 다양한 외부 및 환경적 힘이 있을 시, 외부 자극에 따라 구조색의 가역적 변경을 허용하여, 쉽게 변경될 수 있다. 또한, 특히 잉크젯 및 레이저 인쇄와 같은 기존의 인쇄 기술과 결합하면 자기조립 블록 공중합체의 구조색이 표면 상에 국부화되어 인쇄되므로, 비휘발성, 재기록 가능 및 인쇄 가능 디스플레이에 적합하다.

[0102] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조체(100)는 가역적으로 디스플레이 가능한 광을 변경할 수 있으므로, 광 필터, 마이크로 레이저, 전기 발광소자, 광기전소자, 광 스위치, 및 센서와 같은 다양한 광전자 소자에의 응용성을 가지고 있으며, 반사형 디스플레이 소자에서 컬러 필터뿐만 아니라, 전자책(e-book), 디지털 액자와 같은 다양한 디스플레이 장치에서 가역적으로 다양한 색상을 디스플레이 할 수 있도록 하고, 위조방지 태그(tag)에 이용될 수도 있다.

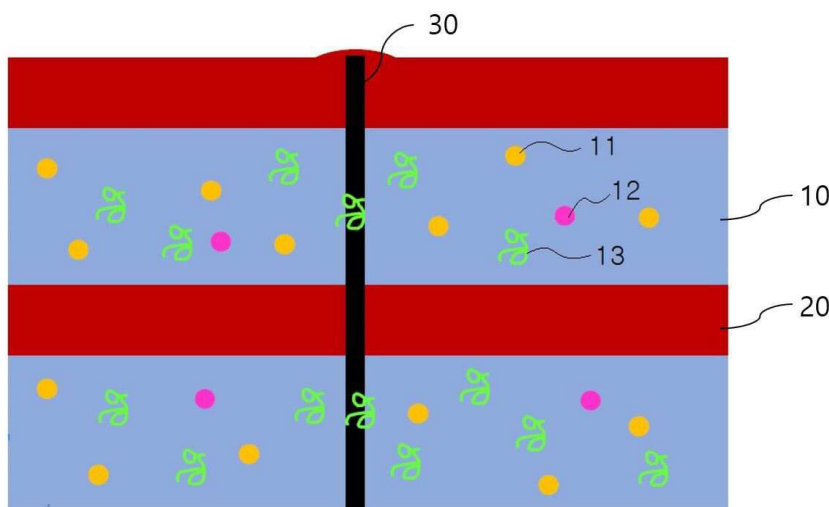
[0103] 이상에서 설명한 본 발명이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

부호의 설명

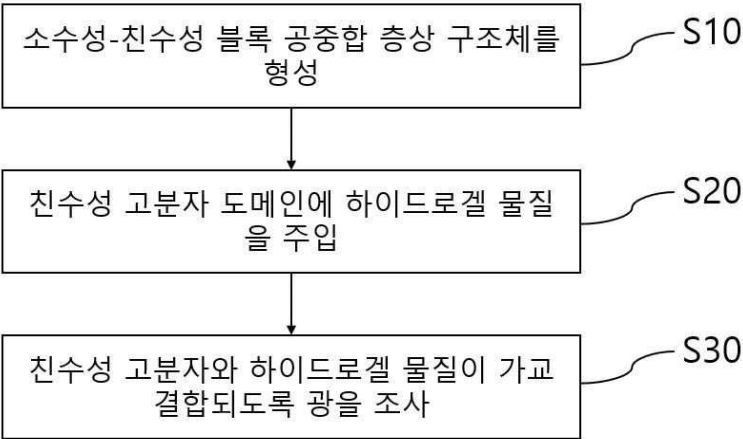
- [0105] 100: 광결정 구조체
10: 친수성 고분자 도메인
11: 물
12: 광개시제
13: 하이드로겔 물질
20: 소수성 고분자 도메인
30: 이송 채널

도면

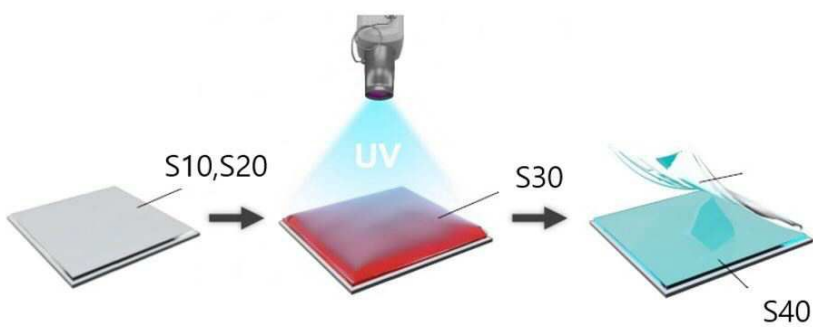
도면1



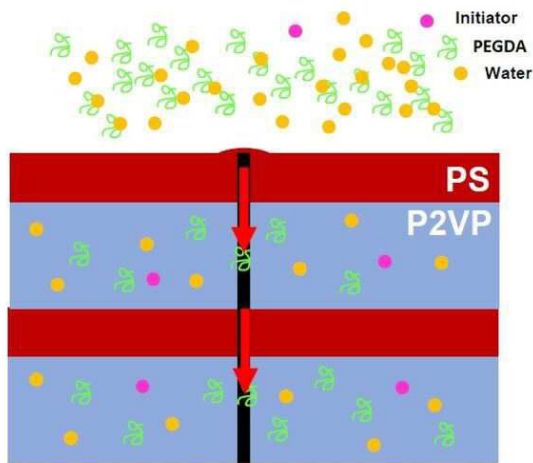
도면2



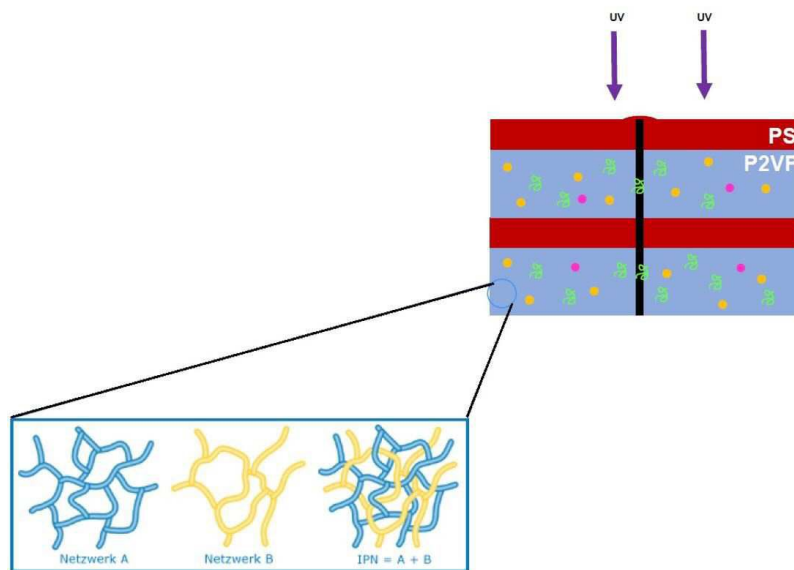
도면3



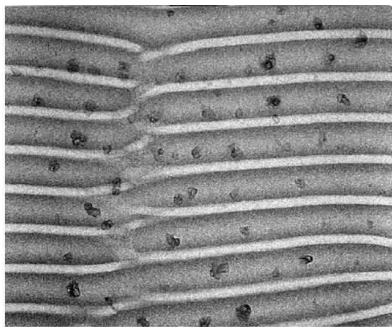
도면4a



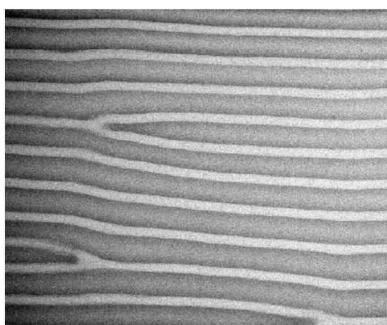
도면4b



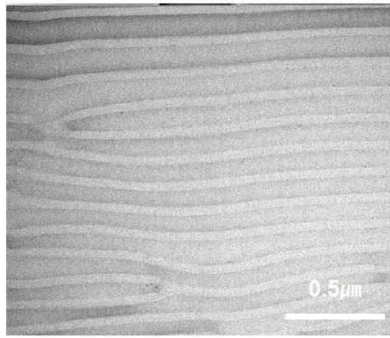
도면5a



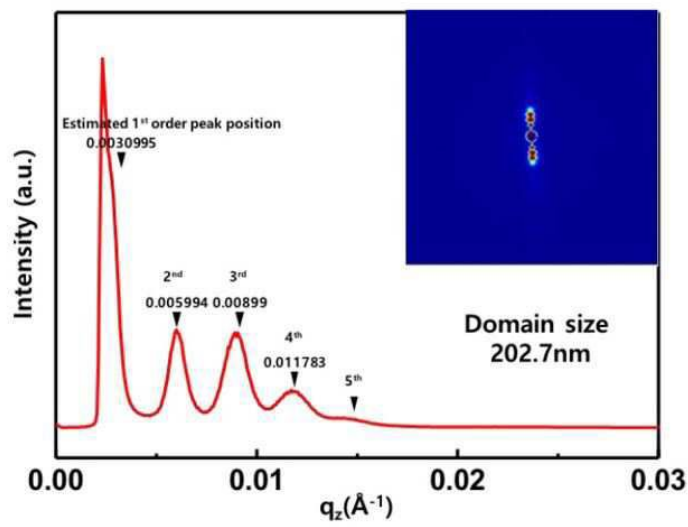
도면5b



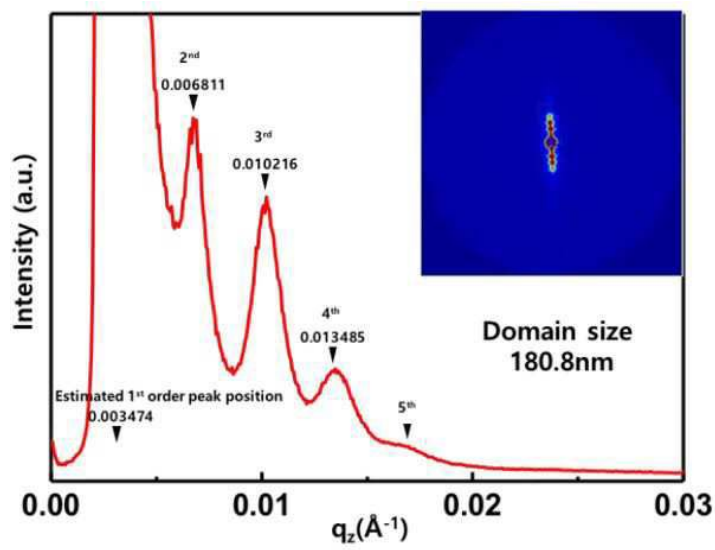
도면5c



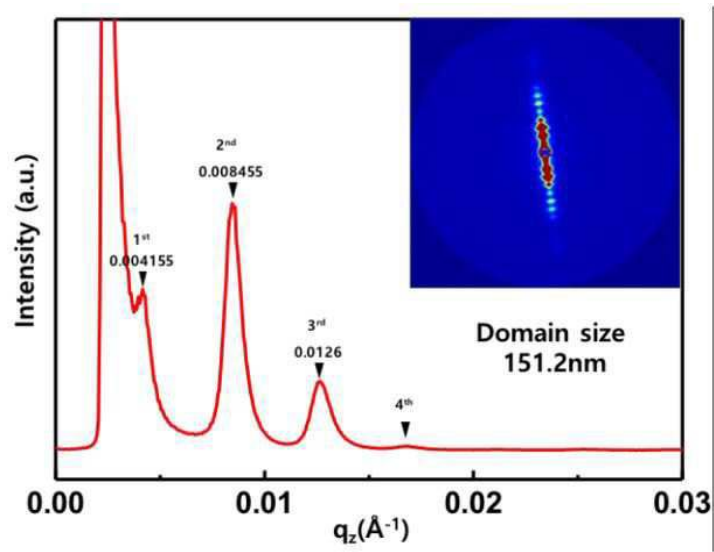
도면6a



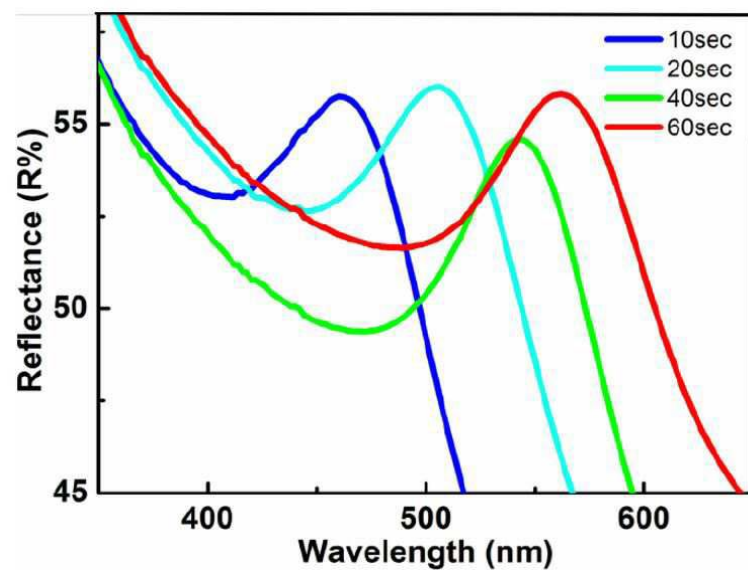
도면6b



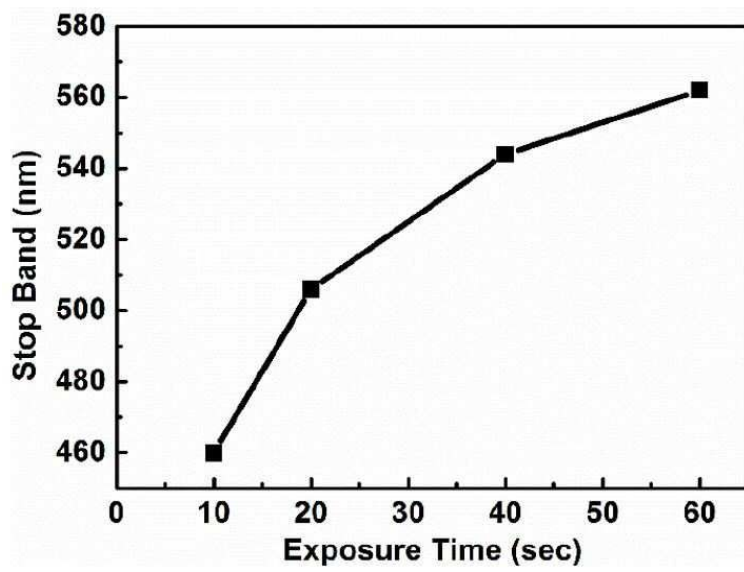
도면6c



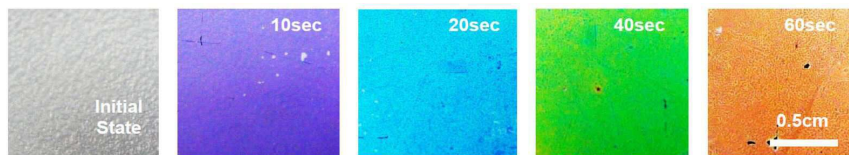
도면7a



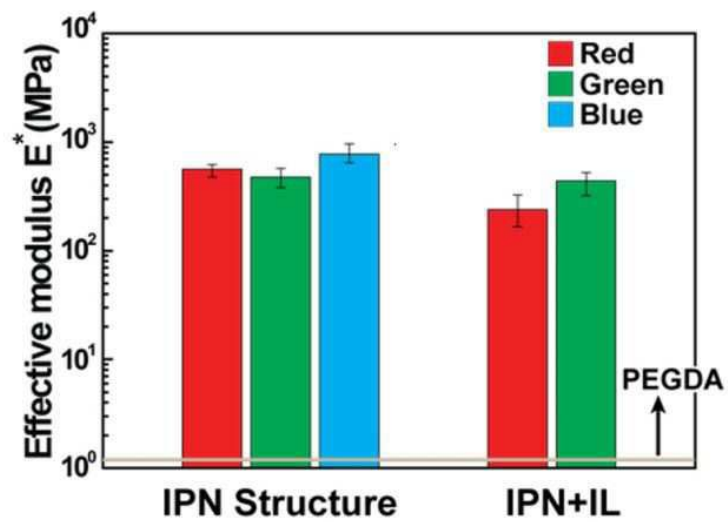
도면7b



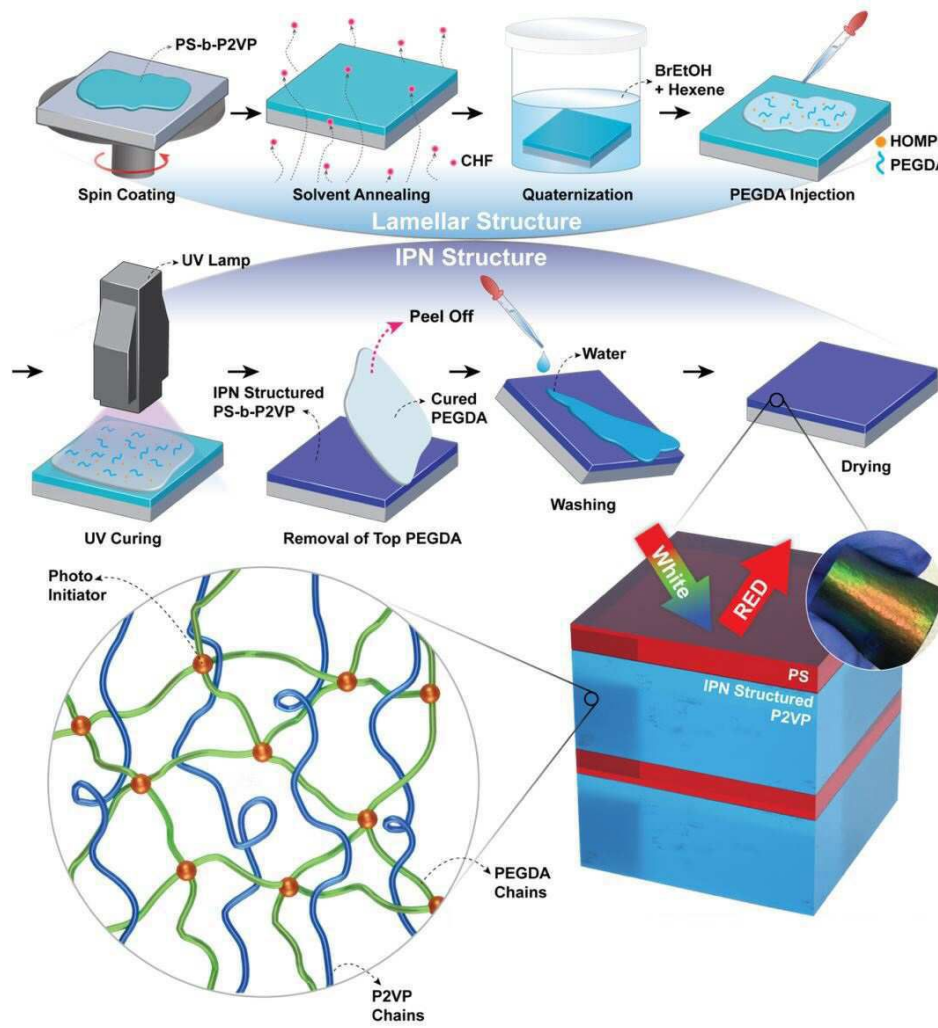
도면7c



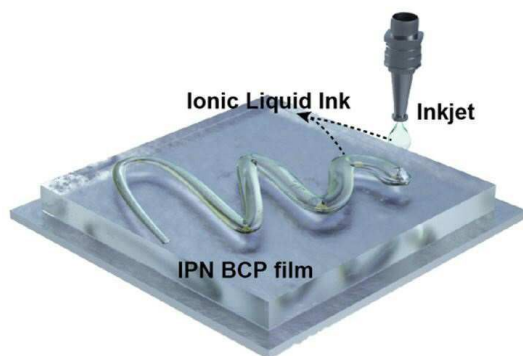
도면8



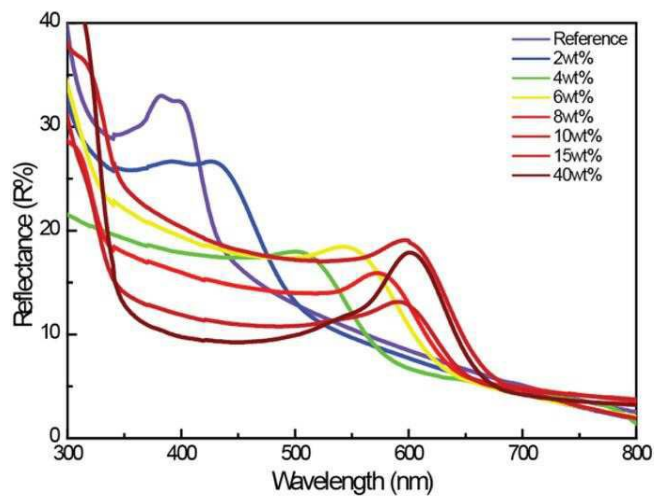
도면9



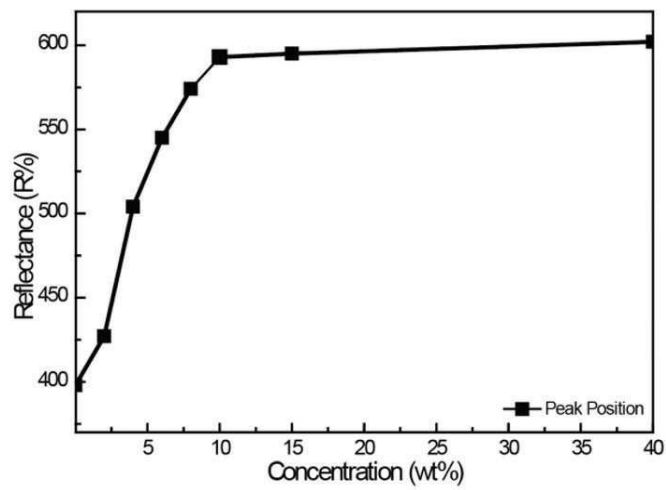
도면10a



도면10b



도면10c



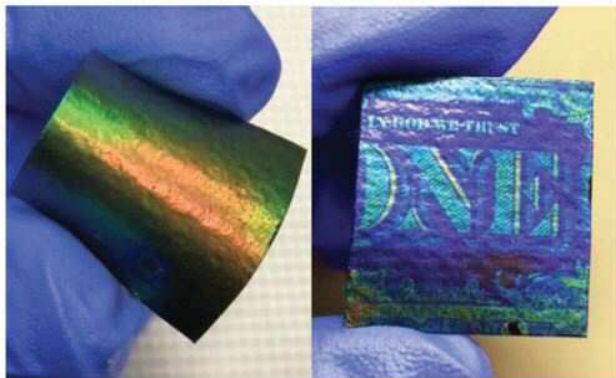
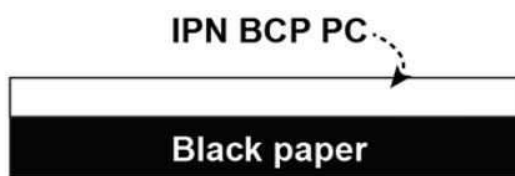
도면10d



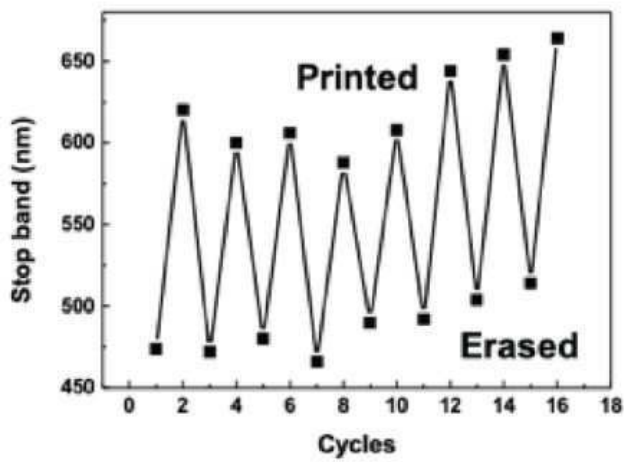
도면10e



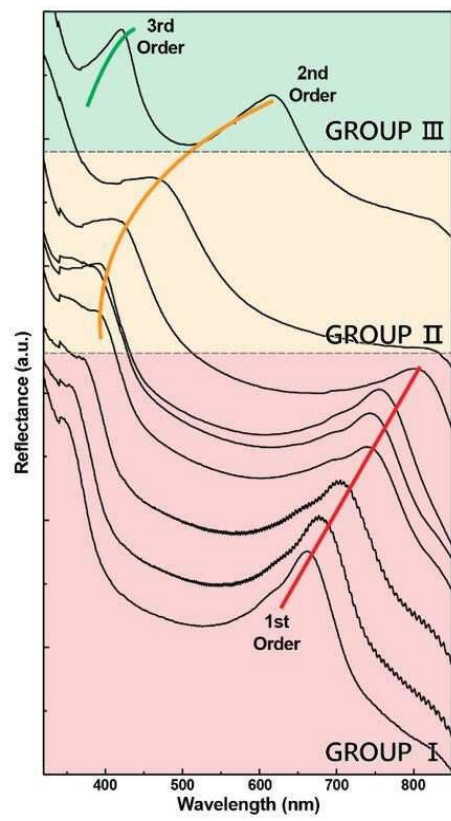
도면10f



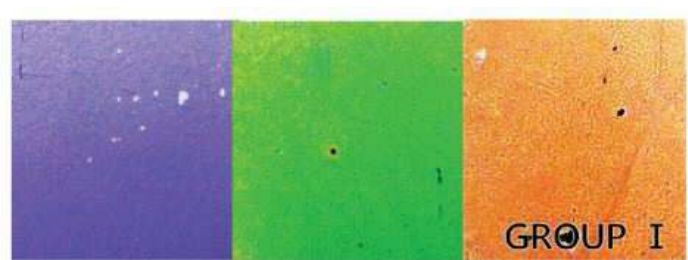
도면11d



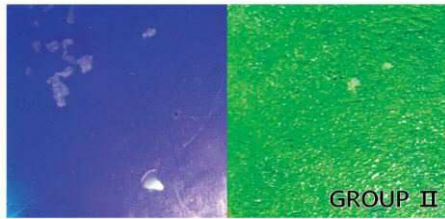
도면11e



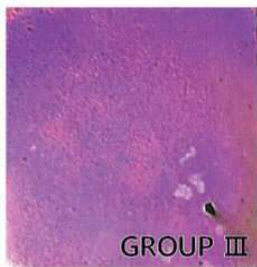
도면11f



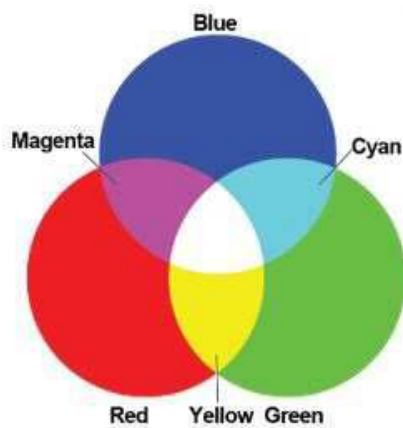
도면11g



도면11h



도면11i



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 10

【변경전】

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 위상학적 결함(topological defect)을 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 위상학적 결함을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하여 선택적으로 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 단계; 및

상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를 포함하며,

상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계는,

블록공중합체 전구체 용액을 준비하는 단계;

상기 블록공중합체 전구체 용액을 블록공중합체 박막이 형성되도록 스핀코팅하는 단계; 및

상기 블록공중합체 박막을 용매 어닐링(solvent annealing) 시키는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

【변경후】

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 위상학적 결함(topological defect)을 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 위상학적 결함을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하여 선택적으로 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 단계; 및

상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를 포함하며,

상기 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계는,

블록공중합체 전구체 용액을 준비하는 단계;

상기 블록공중합체 전구체 용액을 블록공중합체 박막이 형성되도록 스핀코팅하는 단계; 및

상기 블록공중합체 박막을 용매 어닐링(solvent annealing) 시키는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 9

【변경전】

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 위상학적 결함을 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 위상학적 결함을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하여 선택적으로 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 단계; 및

상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.

【변경후】

소수성 고분자 도메인과 친수성 고분자 도메인이 교대로 반복된 구조를 가지며, 위상학적 결함을 갖는 소수성-친수성 블록 공중합 층상 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 위상학적 결함을 통해, 상기 친수성 고분자 도메인에 하이드로겔 물질을 주입하여 선택적으로 상기 친수성 고분자 도메인으로 전달하는 단계; 및

상기 친수성 고분자 도메인의 친수성 고분자와 상기 하이드로겔 물질이 가교결합되도록 광을 조사하는 단계를 포함하는 광결정 구조체의 제조 방법.